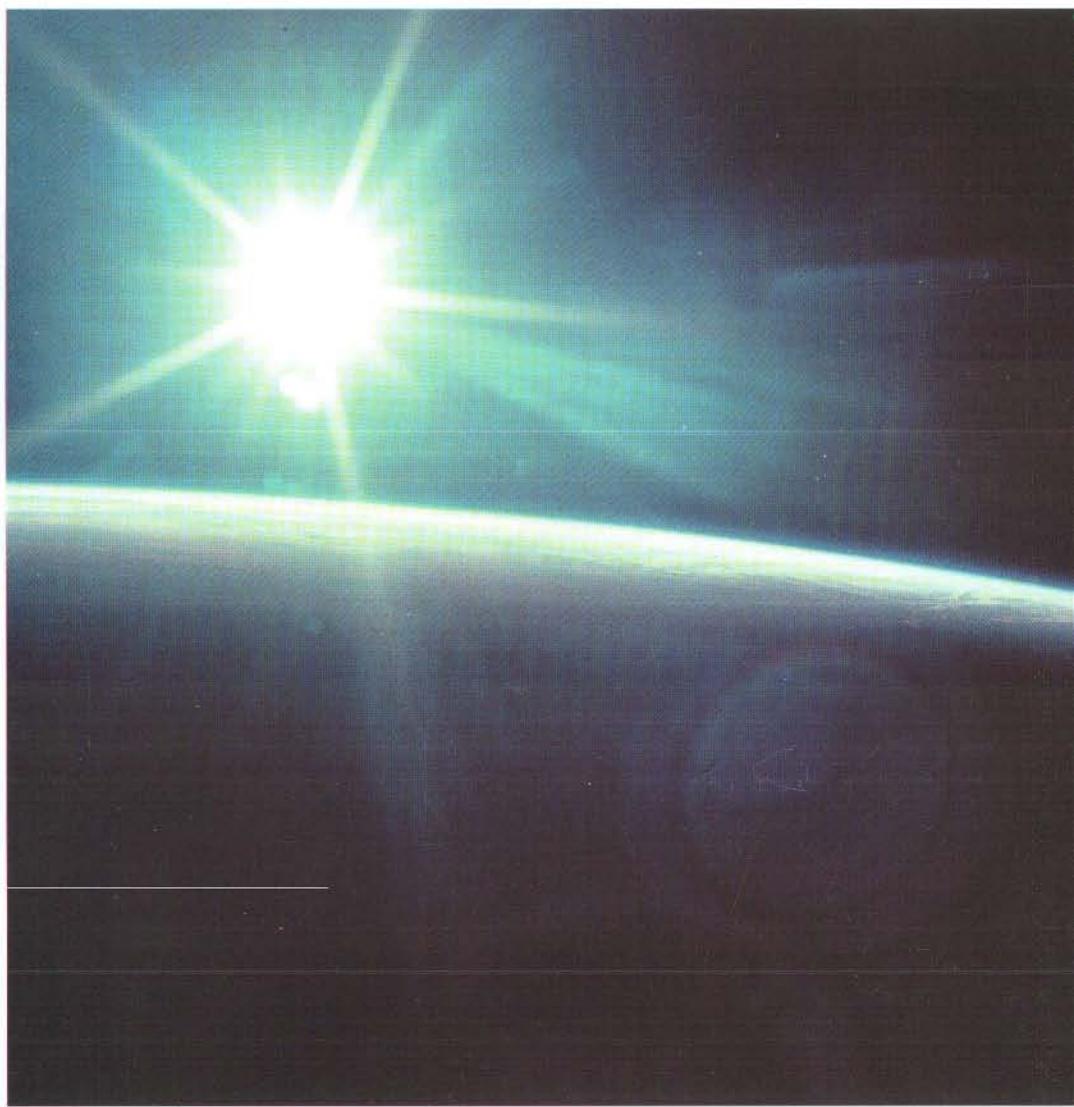


**9**

57<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '89 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



OZONGAT ALS REACTIEVAT / MIMICRY / TOPOGRAFISCHE KAARTEN /  
AUTO-ONTWERPEN / MOTTEKASTELEN / ZAALAKOESTIEK

NATUUR EN TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:  
Postbus 415, 6200 AK Maastricht.  
Telefoon: 043-254044\*.

Fax: 043-216124.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.  
Telefoon: 00-3143254044\*.

Fax: 00-3143216124.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R.A. Bodden-Welsch:  
tel. 043-254044\*.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de CAHIERS BIO-WETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ. Abonnees op Natuur en Techniek en studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 105,- of 2060 F. Voor drie jaar: f 245,- of 4080 BF. Prijs voor studenten: f 80,- of 1565 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR EN TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDSDAAR kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

#### Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht. Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

#### Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

# NATUUR '89 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 10,00 of 200 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



## Bij de omslag

Zonder atmosfeer zou het licht van de zon op aarde net zo intens zijn als op deze foto. Die werd, buiten de aardse luchtlagen, gemaakt door de Nederlandse astronaut Ockels. Op pagina 702 e.v. leest u over de beschermende werking van de ozonlaag in de atmosfeer en over hoe luchtvervuiling die teniet doet.  
(Foto: ESA)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuur.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs G.F.M. Hendrickx, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek, Drs R.W. van Nues.

Redactiesecretaresse: R.A. Bodden-Welsch.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 04759-1305.

Redactiemedewerkers: M.W.M. aan de Brugh, A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems, Drs G.P.Th. Kloeg.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-81223\*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044\*.

Fax: 043-216124.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044\*.

Fax: 00-3143216124.

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publicaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.



# INHOUD

AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL Auto	653

MIMICRY	654
---------	-----

## W. Wickler

Gevaarlijke of onsmakelijke insecten zijn dikwijls opvallend gekleurd, bijvoorbeeld met een geel-zwart patroon. Daarmee waarschuwen zij vogels, hagedissen en andere insektenetende dieren, die al snel leren om van zulke insecten af te blijven. Nu zijn er insecten die noch gevaarlijk noch onsmakelijk zijn, maar wel een geel-zwart 'uniform' dragen en alleen al op grond van dat signaal ongemoeid gelaten worden. Zij zijn 'imitators' die daardoor even goed als hun 'voorbeld' tegen roofvijanden beschermd zijn. Dit verschijnsel van 'valse waarschuwingskleuren' heet mimicry. Maar mimicry is meer dan dat.



1 : 25 000	666
------------	-----

## Land in tekening

### P.W. Geudeke

Topografische kaarten zijn verkleinde weergaven van ons aardoppervlak zoals we dat loodrecht van boven zien. Luchtfoto's dienen hierbij als uitgangsmateriaal. Daarna volgt een langdurig proces dat uiteindelijk leidt tot een topografische kaart. Binnen enkele jaren is de kaart alweer verouderd door onder andere voortdurende ruilverkavelingen en wegenbouw. De komst van de computer heeft het produktieproces enigszins versneld. Bovendien brengt de digitale opslag van topografische informatie nieuwe, veelbelovende mogelijkheden met zich mee.



AUTO-ONTWERPEN	678
----------------	-----

## De kweekstal van de heilige koe

### N. van de Grint en F. Haanstra

Er gaat vrijwel geen maand voorbij of er verschijnt wel ergens op de wereld een nieuw type personenauto. Desondanks duurt de ontwikkeling van een nieuw automodel al gauw een jaar of vijf en zijn er vele honderden personen bij betrokken. De motor, de remmen, de carrosserie en alle andere onderdelen van een auto zijn immers op zichzelf staande systemen en componenten, waaraan zeer zware, sterk uiteenlopende en soms zelfs tegenstrijdige eisen worden gesteld. Toch moeten ze uiteindelijk samen in één voertuig functioneren, voordat dat de weg op kan.



# NATUUR '89 & TECHNIEK

september / 57<sup>e</sup> jaargang/1989

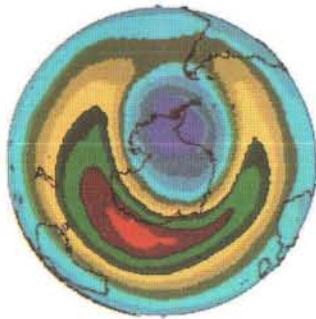


## MOTTEKASTelen

Aardhopen voor de adel  
**J. De Meulenmeester**

De laatste jaren wordt meer en meer aandacht besteed aan het onderzoek van een karakteristiek middeleeuws monument: de castrale motte of mottekasteel. Deze kunstmatige aarden versterkingsheuvel werd vroeger vaak beschouwd als oude grafheuvel of molenheuvel. Men besefte niet dat het om echte kastelen gaat met de daarvan gekoppelde militaire, residentiële, economische en symbolische betekenis. Het is echter duidelijk, dat de overgrote meerderheid van de adel van de 11de tot de 13de eeuw gebruik maakte van deze vorm van versterking.

690



## OZONGAT ALS REACTIEVAT

G. Stout

Het gat in de ozonlaag boven Antarctica trekt grote publieke belangstelling. In veel publicaties over dit onderwerp worden chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) verantwoordelijk gesteld voor de periodieke vermindering van de hoeveelheid ozon in de bovenste lagen van de atmosfeer. Er zijn inderdaad sterke aanwijzingen dat chemische reacties tussen CFK's en ozon een rol spelen bij de afbraak van de ozonlaag. Pogingen om het gebruik van CFK's terug te dringen zijn dan ook op hun plaats, maar het blijft onzeker of deze maatregelen het probleem ook daadwerkelijk oplossen.

702



## KLANK OP MAAT

Zaalakoestiek  
**D. de Vries**

Een concertzaal met een goede akoestiek is volgens velen een kwestie van toeval. Een veelgehoorde mening is dat alleen oude zalen een goede akoestiek hebben. Zeker is dat het vak zaalakoestiek vaak niet tot de exacte wetenschappen wordt gerekend. De zaalakoesticus doet dat uiteraard wel, maar zal moeten toegeven dat in het recente verleden zalen met een minder fraaie akoestiek zijn gebouwd. Er bestaan echter vele moderne concertzalen met een uitstekende geluidsverdeling, tot stand gebracht door een bekwaam akoesticus en een 'luisterende' architect.

714

## ANALYSE EN KATALYSE

Je kunt geen ontdekkingen meer doen in je schuurtje/Waarom er geen ontnuchteringspil komt

728

## PRIJSVRAAG

740

# wat geen STUDIE (-BOEK) u kan bieden



Vele lezers van Natuur & Techniek hebben deze maand een nieuwe overstap gemaakt. Voor de jongeren onder hen is dat de overstap van het ene studiejaar naar het andere, of misschien wel van het ene onderwijsmodel naar het andere. Voor de ouderen onder hen is dat wellicht de overstap van studie naar werk, of zelfs van werk naar studie.

Bij elke overstap moet er een kloof overbrugd worden. Het onderwijs, maar eigenlijk het hele leven, is er vol van: niet alleen de kloof tussen studiejaren en onderwijsmodellen, maar ook de kloof die vakgebieden, studieprogramma's en modules van elkaar scheiden.

Bij Natuur & Techniek is een aantal boeken verkrijgbaar die u helpen die kloof te overbruggen. Deze boeken zijn door onze staf met zorg geselecteerd op een tweetal criteria: ze helpen uw inzicht te **verbreden** door verbanden met andere vakgebieden te leggen. Of ze helpen uw inzicht te **verdiepen** door de samenhang aan te brengen waar geen studieprogramma aan toekomt.

Geen studieboeken dus, maar net iets meer. Daarvoor zijn ze trouwens te goed geschreven en te goed geïllustreerd. Kijkt u zelf maar.

## ENERGIE EN ENTROPIE

DE TWEEDEN HOOFDWET VAN DE THERMODYNAMICA  
P.W. Atkins

Voor wie het begrip 'entropie' altijd een beetje vaag is gebleven is dit boek een uitkomst. Door de talloze voorbeelden begint de 'entropie als mate van wanorde' werkelijk gestalte te krijgen.

Door bewust de wiskundige formulering achterwege te laten, vereist Atkins' boek weinig voorkennis. Dit heeft bovendien als voordeel dat de fysica, die veelal verborgen ligt in de wiskundige formules, veel beter tot zijn recht komt.

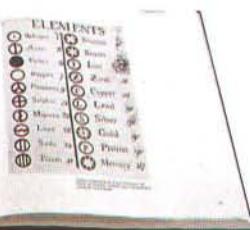
"De doelgroep waarvoor het boek geschikt is betreft studenten uit de hoogste klassen van het VWO met een duidelijke interesse voor natuur- en scheikunde en studenten uit het hoger beroepsonderwijs en wetenschappelijk onderwijs die met dit boek een verbreding van hun visie op de wereld van de thermodynamica kunnen verkrijgen."

Dr.ir. R.A.J. Janssen  
Technische Universiteit Eindhoven  
Vakgroep Organische Chemie



## BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

DE WETEN VAN DE NATUURKUNDE  
Steven Weinberg



▲  
208 pagina's met 49 afbeeldingen.  
In zwart/wit druk.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

◀  
230 pagina's met 104 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

▲  
250 pagina's met 200 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

Eigenlijk zijn dit twee boeken, die op een slimme manier met elkaar verweven zijn. Eén boek is het verslag van een reeks hoogtepunten uit de natuurkunde van de 20e eeuw, gebeurtenissen die hebben geleid tot de ontdekking van de deeltjes in het atoom: het elektron, het proton en het neutron. Het andere boek bestaat uit een inleiding tot die grondbeginselen van de klassieke natuurkunde – mechanica, elektriciteit en magnetisme, warmteleer – die bij deze ontdekkingen een belangrijke rol speelden.

Kortom: een overzicht dat inzicht genereert.

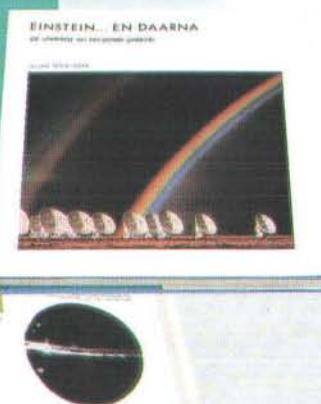
## EINSTEIN... EN DAARNA

DE UITWERKING VAN EEN GENIALE GEDACHTE  
Julian Schwinger

*Einstein...en daarna* benadert de relativiteitstheorie vanuit een populaire hoek, maar maakt toch regelmatig gebruik van wiskundige formules. Wie niet schrikt van gedachtenexperimenten en vertrouwd is met basisbegrippen uit de wiskunde en de natuurkunde heeft aan *Einstein...en daarna* een goede gids in het lastige gebied van de relativiteitstheorie van Einstein.

"Schwinger's boek is voor mij zonder twijfel het best populariserende werk over Einstein's relativiteitstheorie dat ooit verschenen is. De taal is beeldrijk en levendig. Alle berekeningen staan stap voor stap volledig uitgewerkt in de hoofdtekst. Daardoor is een werk tot stand gekomen dat de leek (en menig student in de fysica!) voor het eerst reële kans biedt om Einstein te begrijpen."

Prof. dr. R.T. Van de Walle  
K.U. Nijmegen



## DE LEVENDE CEL (IN TWEE DELEN)

RONDREIS IN EEN MICROSCOPISCHE WERELD

Christian de Duve

Christian de Duve is de 'peetvader' van de celbiologie en zal dan ook de beste gids zijn om ons in te wijden in de biologie van de levende cel. Zijn gevoel voor presentatie staat ook garant voor de beste illustraties. De aanpak van de twee boeken is uniek: men gebruikt de morfologie van de cel om kennis te nemen van alle biologische en biochemische celprocessen.

*"De wetenschappelijke kwaliteit en het literaire karakter van het boek staan borg voor een boeiende introductie in de celbiologie en de biochemie."*

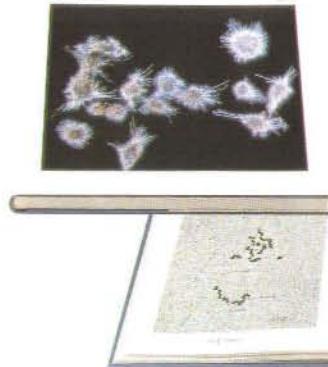
Prof. dr. W.Th. Daems  
Rijksuniversiteit Leiden

*"Persoonlijk vind ik dit boek een aanrader voor alle eerstejaars biologie en HBO-studenten. Niet alleen vanwege de kwaliteit van tekst en illustraties. Veel meer vanwege de integratie van biochemie, moleculaire biologie en celbiologie."*

Prof. dr. H.O. Voorma  
Rijksuniversiteit Utrecht

DE LEVENDE CEL

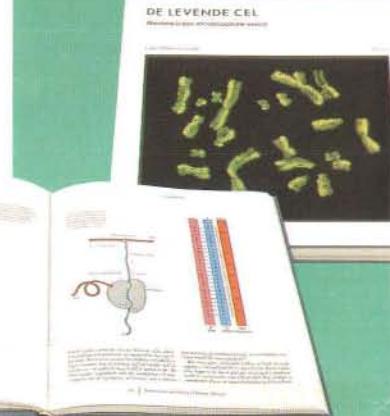
Wetenschappelijk en literair werk



► 228 pagina's met 137 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

DE LEVENDE CEL

Wetenschappelijk en literair werk



## CELLEN, WEEFELS EN ORGANEN

EEN SCANNING-ELEKTRONENMICROSCOPISCHE STUDIE-ATLAS

Richard G. Kessel – Randy H. Kardon

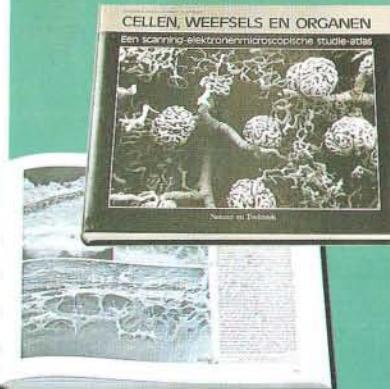
Sinds enige tijd werkt men met een microscooptype dat ook de derde dimensie van biologische structuren voor onderzoek toegankelijk heeft gemaakt. In het Nederlandse taalgebied bestond al jaren behoefte aan een dergelijke atlas, vooral voor studie- en onderwijsdoelen. Op initiatief van NATUUR & TECHNIEK werd daarop een Nederlandse bewerking van deze atlas op zeer deskundige wijze verzorgd door prof. dr. A.M. Stadhouders, Hoofd van het Centrum voor Electronenmicroscopie van de Kath. Universiteit te Nijmegen.



► 240 pagina's met ca. 200 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

CELLEN, WEEFELS EN ORGANEN

Een scanning-elektronenmicroscopische studie-atlas



## PSYCHOFARMACA

Permanen 2000 Woudt



### Deel 1

248 pagina's met 200 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: / 74,50 of 1480 F.

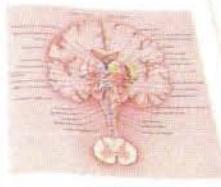
Voor abonnees / 59,50 of 1165 F.

### Deel 2

228 pagina's met 140 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: / 74,50 of 1480 F.

Voor abonnees / 59,50 of 1165 F.



## PSYCHOFARMACA

### HERSENNEN ONDER INVLOED

Solomon H. Snyder

Van 'psychofarmaca' kun je high worden of ziek of weer beter. Deze stoffen, die de hersenfuncties beïnvloeden, worden ten goede of ten kwade, in vele toepassingen aangewend. In het wetenschappelijk onderzoek hebben psychofarmaca enorm veel kennis opgeleverd over de werking van de menselijke hersenen. Snyder

geeft in dit boek een overzicht van de huidige kennis over het functioneren van het menselijk brein en beschrijft een aantal van de experimenten die tot deze kennis hebben geleid.

*"De lezer krijgt een dosis noodzakelijke basiskennis toegediend die hier en daar misschien wat ingewikkeld is. Maar het loont de moeite de auteur te volgen, want plotseling begrijpt de lezer het principe van de werking van geneesmiddelen bij de behandeling van schizofrenie, de ziekte van Parkinson, depressie en angst."*

Prof. dr. D.F. Swaab

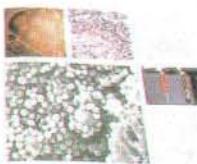
Directeur Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek

*"Zeer aan te bevelen aan studerenden en workers in de geestelijke gezondheidszorg."*

Prof. dr. M. Zeegers

## IMMUNOLOGIE

Permanen 2000 Woudt



320 pagina's met ruim 700 illustraties.  
In zwart/wit druk.

Prijs: / 94,- of 1845 F.

Voor abonnees / 65,- of 1275 F.

## IMMUNOLOGIE

### HET MENSELIJK AFWEERSSTELLE

J.G. van den Tweel e.a.

Wie enig inzicht wil krijgen in het menselijk afweersysteem, in de ontwikkeling van medicijnen tegen AIDS en kanker, in de problemen bij orgaantransplantaties, in de ontwikkeling van diagnoses met behulp van monoklonale antilichamen of in de achtergronden van allergie-reacties, heeft aan dit boek een uitstekende gids. Het geeft een 'state of the art' van de mechanismen die onze gezondheid reguleren.

*"Omdat dit boek de stand van zaken ook didactisch gezien duidelijk op een rij zet, is het uitermate geschikt als leerboek voor een ieder die tijdens zijn of haar opleiding met de immunologie in aanraking komt."*

C.W. van Verseveld, arts

Hogeschool Interstudie, Nijmegen  
sector laboratoriumopleidingen

# Biomaatschappij

Manipuleren, ook met het leven, is karakteristiek voor de mens. Dit schrijft Prins Claus in het voorwoord tot dit cahier. De consequenties van de manipulaties die bij de huidige stand van de wetenschap mogelijk zijn, vragen echter ernstige overdenking. Wat willen we met onze technische mogelijkheden eigenlijk bereiken? Creëren we daarmee een betere wereld?

## Een greep uit de inhoud:

### Voorwoord

Z.K.H. Prins Claus

### Manipuleren van micro-organismen en planten

N.W.F. Kossen

### Genetische manipulatie in de veehouderij

A.J.H. van Es

### De nieuwe biologie en de geneeskunde

P. van Duijn

### Ingrijpen in de voortplanting van de mens

E.V. van Hall

### Manipuleren van het milieu

A.J. Wiggers

### Een biorevolutie?

J.J. van Duijn



## CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Het cahier BIOMAATSCHAPPIJ kan worden besteld bij Natuur & Techniek – Informatiecentrum – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044 (vanuit België: 00-3143254044). Het kost f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

## AUTEURS

**Prof dr W. Wickler** ('Mimicry') is in 1931 in Berlijn geboren. Hij studeerde aan de universiteit van Münster en promoveerde op een onderzoek naar de biologie en het gedrag van een slijmvis in het Gardameer. Momenteel is hij directeur bij het Max-Planck-Institut te Seewiesen en hoogleraar zoölogie aan de universiteit van München.

**Drs P.W. Geudeke** ('Kaarten') is op 22 december 1939 in Almkerk geboren. Hij studeerde van 1958 tot 1966 fysische geografie aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Sinds zijn afstuderen werkt hij bij de Topografische Dienst te Emmen, waarvan hij in 1984 directeur werd.

**Ir N.J.M. van de Grint** ('Auto-ontwerpen') studeerde van 1972 tot 1979 werktuigbouwkunde aan de TU Eindhoven, waarna hij in dienst trad bij Volvo Car BV. Daar werkte hij eerst als carrosserieconstructeur en is hij sinds 1982, als hoofd Geometrische Analyse, verantwoordelijk voor de invoering van CAD-systeem. Van de Grint is in Heerlen geboren.

**F. Haanstra** ('Auto-ontwerpen') is in 's-Groningen geboren op 10 september 1955. Hij studeerde tot 1975 journalistiek, public relations en voorlichting. In 1976 begon hij zijn loopbaan als journalist en sinds 1983 werkt hij bij de afdeling Corporate PR van Volvo Car BV te Helmond.

**Lic J. De Meulenmeester** ('Mottes') is in 1946 te Aalst geboren. Hij studeerde geschiedenis in Gent, waar hij in 1969 promoveerde. Daarna was hij enige tijd verbonden aan het Afrikamuseum te Tervuren en aan de RU Gent. Sinds 1972 werkt hij bij de Nationale Dienst voor Opgravingen en bij het Nationaal Centrum voor Oudheidkundige Navorsingen in België.

**Drs G. Stout** ('Ozongat') is op 25 maart 1950 in Emmen geboren. Van 1968 tot 1975 studeerde hij scheikunde aan de Rijksuniversiteit Groningen. Momenteel is hij docent scheikunde bij de faculteit onderwijs van de Noordelijke Hogeschool Leeuwarden: de lerarenopleiding Ubbo Emmius in Groningen.

**Dr ir D. de Vries** ('Akoestiek') is verbonden aan de Technische Universiteit Delft, waar hij universitair hoofddocent is. Hij is tevens docent muziekregistratie aan het Koninklijk Conservatorium in Den Haag en was een tijdje zaalakoesticus bij TNO. De Vries is geboren in Weststellingwerf en studeerde en promoveerde aan de TU Delft.

# Auto

Eén van de gevaren die men kan zien in het huidige ongebreidelde gepraat over het milieu, is de kans op mentale overkill. Niet omdat het milieu geen gevaar zou lopen, zeker ook niet omdat de voorgenomen maatregelen overdreven zouden zijn – integendeel, vrijwel alle deskundigen zijn het erover eens, dat de voorgenomen maatregelen in het algemeen niet veel meer effect zullen hebben dan dat ze de toename in het tempo van de afbraak wat verminderen: ook na de maatregelen gaat de afbraak in steeds hoger tempo door.

Nee, het mogelijke probleem zit bij de hoeveelheid woorden die aan het milieu wordt besteed. Die doen denken aan een modieuze hausse, en modeverschijnselfen hebben als fundamentele eigenschap dat ze voorbij gaan. Vandaar wellicht dat de stemmen van al diegenen die al decennia met de milieuproblemen bezig zijn, op het ogenblik niet zoveel worden gehoord. Ze kunnen hun kruit beter droog houden voor over één of twee jaar, als iedereen gaat gappen bij het woord milieu alleen al.

Met de verspreiding van de discussie over een zeer veel grotere groep is er ook een zekere verschuiving in accent gekomen. Was het voorheen vooral de industrie die, vanwege de produktie van ontelbare tonnen veelal maar matig bekend afval, in de verdachtenbank stond, nu wordt – met de kanttekening dat er toch zo min mogelijk afval moet worden gemaakt – grootschalige uitstoot eigenlijk vrijwel buiten de discussie gehouden. De industrie immers moet het geld leveren om (onder andere) het milieu schoon te maken.

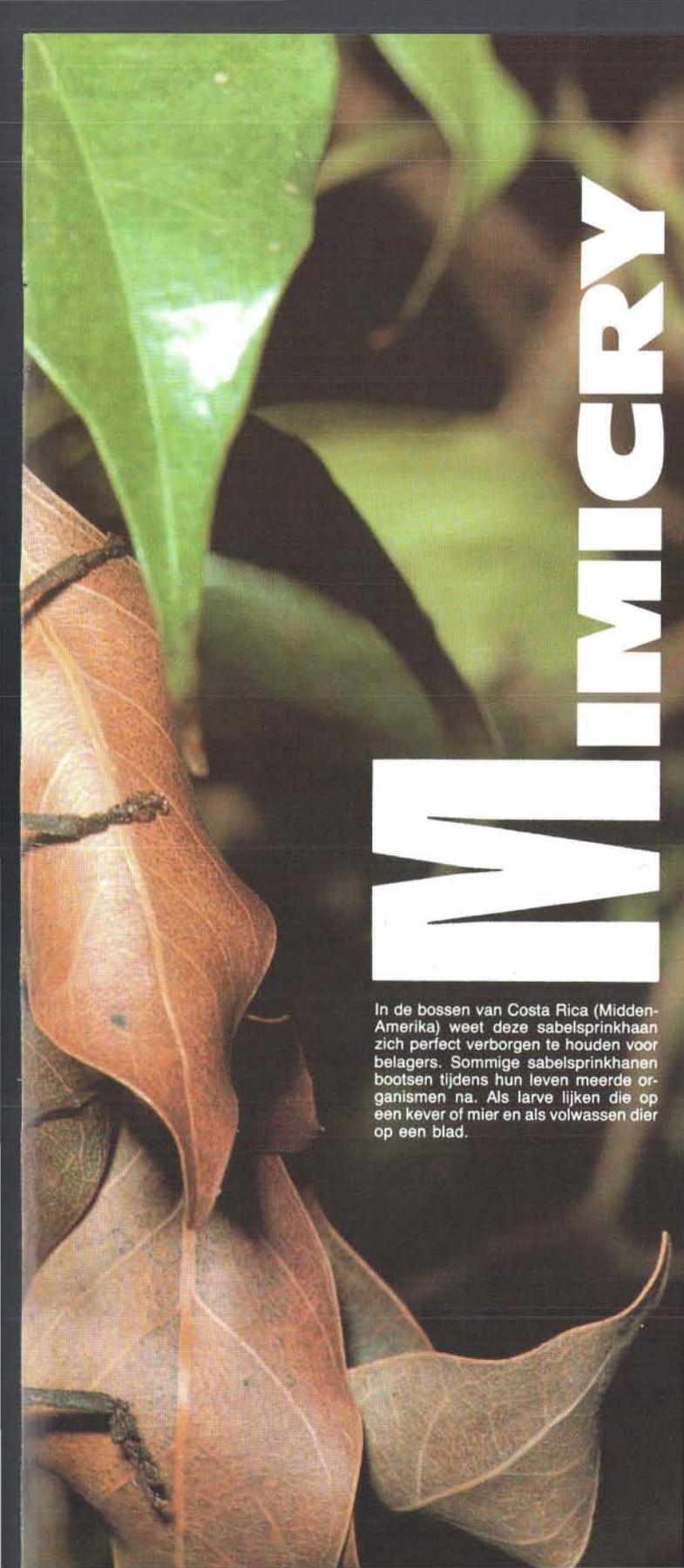
Centraal staan op dit ogenblik de grote aantallen betrekkelijk kleine vervuilers, vooral boeren en automobilisten. Daarmee staat overigens bepaald nog niet vast, dat er binnen afzienbare tijd minder geboerd of autogereden zal worden. Het ziet er naar uit, dat de verkoop van auto's meer met de algemene (en de daarvan afgeleide persoonlijke) economische situatie verbonden is, dan met de actualiteit van de milieu-aantasting. En dat zal wel niet echt veranderen, zo lang wat met de auto een kwartiertje is per openbaar vervoer al gauw een uur kost – zo niet méér als men zich naar een premiewoning op flinke afstand van het werk heeft laten lokken.

De auto-industrie is dus nog niet meteen in gevaar, natuurlijk ook al omdat het belang van een eigen auto veel groter is dan dat van een vervoermiddel. Niettemin moet het juist voor deze bedrijfstak van essentieel belang zijn of de huidige milieu-euforie tijdelijk is dan wel een permanente zaak.

Het artikel van Van de Grint en Haanstra op pag. 678 laat zien dat men in de auto-industrie met het denken zeer veel jaren voorloopt op de produkten die we op straat zien. Daar is altijd een enorm risico aan verbonden. Er zijn voorbeelden van auto's die zichzelf verkopen, maar ook van produkten, soms van dezelfde fabriek, die men aan de straatstenen niet kwijt kan. Dat risico lijkt nu nog veel groter. Gaan we over tien jaar alleen nog in het weekeinde met de auto? Of alleen tijdens de vakantie? Dat stelt andere eisen dan het voertuig waarmee we elke dag van huis naar werk gaan. Over de auto's van dan wordt nu beslist.



# MIMICRY



In de bossen van Costa Rica (Midden-Amerika) weet deze sabelsprinkhaan zich perfect verborgen te houden voor belagers. Sommige sabelsprinkhanen bootsen tijdens hun leven meerde organismen na. Als larve lijken die op een kever of mier en als volwassen dier op een blad.

Gevaarlijke of onsmakelijke insecten zijn dikwijls opvallend gekleurd, bijvoorbeeld met een geel-zwart patroon. Vogels, hagedissen en andere insektenetende dieren leren al snel om van zulke insecten af te blijven. Nu zijn er insecten die noch gevvaarlijk noch onsmakelijk zijn, maar wel een geel-zwart 'uniform' dragen en alleen al op grond van dat signaal ongemoeid gelaten worden. Zij zijn 'imitators' die daardoor even goed als hun 'voorbij' tegen roofvijanden beschermd zijn. Dit verschijnsel van 'valse waarschuwingsskleuren' heet mimicry. Maar mimicry is meer dan dat.

**Wolfgang Wickler**  
Max Planck Institut  
Seewiesen

Het verschijnsel dat dieren hun roofvijanden misleiden met valse waarschuwingsskleuren is het populairste voorbeeld van mimicry. Op grond van deze ene vorm van imitatie wordt mimicry vaak gedefinieerd als ‘het imiteren van een diersoort die op een of andere manier beschermd is tegen roofvijanden, door een diersoort die een dergelijke bescherming mist’. Beter is het om te zeggen dat deze omschrij-

is niet per se gunstig voor de oorspronkelijke bezitter ervan.

Juist bij de interessante voorbeelden van mimicry uit de evolutiebiologie komen veel meer roilverdelingen voor dan bij ‘beschermende mimicry’ het geval is. Mimicry is namelijk een verschijnsel met veel meer aspecten. In de huidige biologie staat het begrip mimicry voor een ingewikkelde vorm van communicatie, waarbij een ontvanger van een bepaald signaal door een imitatie van dat signaal wordt misleid en vervolgens wordt verleid tot een reactie die de imitator voordeel oplevert. Het is leerzaam en tegelijk boeiend om deze verschillende roilverdelingen te ontdekken en nader te bestuderen.

### Mimicry in vele vormen

Ons eerste voorbeeld laat zien dat mimicry niet alleen bij dieren maar ook bij planten voorkomt. Planten als de passiebloem, *Passiflora*, en kruisbloemigen van het geslacht *Streptanthus* vertonen kleine knobbeltjes die op vlindereitjes lijken.



1

ving van het begrip mimicry slechts betrekking heeft op een van de vele vormen van mimicry, namelijk de ‘beschermende mimicry’. Op de eerste plaats gaat het daarbij lang niet altijd om dieren, want mimicry komt ook bij planten voor. Op de tweede plaats is de misleide ontvanger van het signaal lang niet altijd een roofvijand. Ook gaat het niet altijd om eigenschappen van verschillende soorten; ook binnen een en dezelfde soort komt mimicry voor. Verder gaat het beslist niet alleen om het nabootsen van signalen met een beschermende werking. Tenslotte: het signaal dat de imitator nabootst

1. Deze mot uit Costa Rica maakt vals gebruik van de waarschuwingsskleuren geel en zwart van een wesp. Hij ziet er gevvaarlijk uit, maar is het niet.

2 en 3. De mimicry waarvan deze paddstoel en bloem zich bedienen loopt niet zo in het oog, maar is des te beter te ruiken. Ze verspreiden beide een sterke kadavergeur, waarmee ze vliegen aantrekken die vervolgens zorgen voor de verspreiding van de sporen of de bevruchting van de bloem. De stinkzwam valt bij de vliegen zó in de smaak, dat hij na enkele uren volledig is opgegeten.

Planten die al met 'eitjes' zijn bedekt, worden door wijfjes van de betreffende vlinders (Heliconiidae, Pieridae) zoveel mogelijk vermeden, om hun rupsen te grote concurrentie te besparen. De ei-imitaties vertellen de vlinders als het ware dat deze plant al 'bezett' is en beschermen zo de plant tegen vreet door rupsen. Dit is een geval van beschermende mimicry, maar nu zijn er ook planten bij betrokken.

Een ander voorbeeld toont aan dat de misleide ontvanger van het nepsignaal niet altijd een roofvijand is. In het dierenrijk wordt veel gebruik gemaakt van chemische signalen

en ook daar bestaan nabootsing van die de ontvanger misleiden. Van dit principe maakt de spin *Mastophora* gebruik. Deze spin maakt geen web maar slechts een draad met een kleverige druppel aan het uiteinde, die ze met een poot vasthouwt en heen en weer beweegt. Bovendien produceert ze een chemische lokstof, namelijk die waarmee sommige nachtvlinderwifjes hun mannetjes lokken. Deze nachtvlindermannetjes vormen voor de spin de voor-



2

naamste prooi. In dit geval wordt dus niet de roofvijand maar de prooi zelf misleid.

Verder speelt mimicry zich niet alleen af tussen verschillende soorten. Van bijen is bekend dat ze weerbaar zijn door hun angelgif; mannelijke bijen profiteren hiervan, want ze hebben wel waarschuwingkleuren maar geen angel en geen gif. Volgens de moderne definitie zijn ze dus imitators binnen hun eigen soort, want het oorspronkelijke signaal is een nepsignaal geworden al hebben ze hun signaalvoorbeld natuurlijk niet echt nagebootst.

Bovendien noemen we een geval waarin het voorbeeldsignaal niet altijd onverdeeld gunstig is voor de oorspronkelijke bezitter ervan. Een groot aantal vliegensoorten zoekt rottend vlees om daarin eieren te leggen. Ze vinden dat vlees door af te gaan op de kadavergeur die het verspreidt. De stinkzwam uit onze bossen verspreidt precies zo'n kadavergeur en dat brengt vliegen er zelfs toe om hun eieren op deze paddestoelen te leggen, al zullen de larven die uitkomen er geen voedsel vinden. Wat is het voordeel van dit vliegbezoek? Bij ieder bezoek aan zo'n paddestoel nemen de vliegen sporen aan hun poten mee en zorgen zo voor de ver-

3





4

4. Ook de soort mens bedient zich graag van imitatie en dat gaat haar vaak niet slecht af. Madonna is het grote voorbeeld van deze ster uit de Mini Playback-show.



5

5. Met een wormvormig uitgroeisel van zijn rugvin tracht *Antennarius striatus* een prooi te lokken.

6. Orchideeën van het geslacht *Ophrys* lijken zo goed op vrouwelijke bijen of wespen, dat de mannetjes van deze insecten de bloem voor partner aanzien en ermee proberen te paren.

7. Namaakvisjes worden niet alleen door de mens als lokaas gebruikt. Geen enkele soort beschikt echter over zo'n arsenaal. Akelig perfect.



6

spreiding ervan. Ook hier is de imitator een plant. Maar de kadavergeur is geen signaal dat oorspronkelijk van voordeel was: voor een kadaver speelt de kwestie van voor- of nadeel al helemaal niet en de bacteriën die het vlees afbreken, produceren die geur niet als lokmiddel.

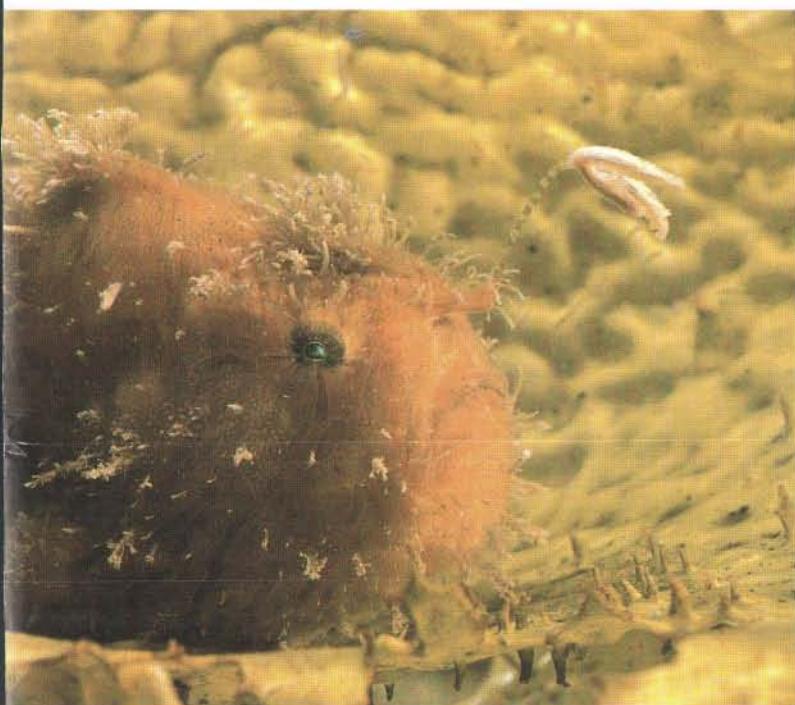
Tenslotte volgt hier een voorbeeld dat in meer dan een opzicht afwijkt van de klassieke definitie. De orchideeën van het geslacht *Ophrys* hebben Nederlandse namen als vliegenorchis of bijenorchis omdat de lip van deze bloemen – het *labellum* – door zijn opvallende vorm en kleur sprekend lijkt op een vlieg of op een bij. Deze gelijkenis ziet niet alleen wij, maar bijvoorbeeld ook de mannetjes van zandbijen en hoornbijen. Op deze mannetjes hebben de bloemen van de *Ophrys*-soorten door hun formaat, vorm, kleur en textuur het effect van nepwifjes. Zelfs hun bloemgeur lijkt op die van de seksuele lokstof (een seksferomon) die door de insectenwifjes wordt verspreid. De mannetjes landen op het labellum en terwijl ze – tevergeefs – verwoede pogingen doen om met het nepwifje te paren, krijgen ze de stuifmeelklompjes van de bloem opgeplakt. Deze nemen ze mee naar een volgend ‘wifje’,

dat meestal weer een orchideebloem is. Bij deze vorm van mimicry is het voorbeeld een dier, namelijk een insectenwifje, en de imitator een plant; er is geen sprake van een beschermende waarschuwingskleur en het slachtoffer van de misleiding is geen vraatzuchtige vijand, maar een seksuele partner. Voor dit verschijnsel is de klassieke definitie van mimicry duidelijk te eng.

### Lokaas van verschillende herkomst

Zoals gezegd: de signalen die bij mimicry worden nagebootst zijn niet altijd gunstig voor de oorspronkelijke bezitter (het voorbeeld) en evenmin dienen ze per se tot bescherming van de nieuwe bezitter (de imitator). Dit is heel duidelijk bij een geraffineerde vorm van misleiding met lokaas. Sportvissers proberen vissen te vangen door ze te lokken met een worm of iets wat daarvoor door moet gaan. In het laatste geval is er sprake van nepvoedsel dat als lokaas dient. Een dergelijke truc zien we ook bij een groot aantal visetende dieren. Zo ligt de bijtschildpad *Macrochelys temminckii* uit het Mississippigebied gewoonlijk bewegingloos op de bodem van het water, nauwelijks afstekend tegen de omgeving, maar zijn bek is meestal open gesperd. Het puntje van zijn tong is voorzien van twee rode, wormvormige aanhangsels. Zodra een visje, dat daardoor wordt gelokt, aan deze opvallende aanhangsels begint te knabbelen, wordt het gegrepen door bliksemnel dichtklappende kaken. Iets soortgelijks doen de voelsprijetvissen van de familie Antennariidae, maar als lokaas gebruiken ze een aanhangsel aan de eerste rugvinstraal, dat ook op een worm lijkt en dat ze voor hun bek heen en weer laten bengelen.

De wormachtige structuren aan tong of



vin zijn voor hun drager imitatieën van een of andere worm, die als voorbeeld fungeert en waar vissen op af komen. Twee zaken vallen op. De oorspronkelijke bezitter, de worm, heeft van het signaal geen voordeel: zijn uiterlijk beschermt hem niet. De nieuwe bezitter daarentegen, profiteert van de imitatie, maar deze heeft nu eens geen beschermende maar wel een lokkende werking. En aangezien de signaalontvanger tot zijn nadeel wordt misleid, spreekt men in dergelijke gevallen van 'agressieve mimicry'.

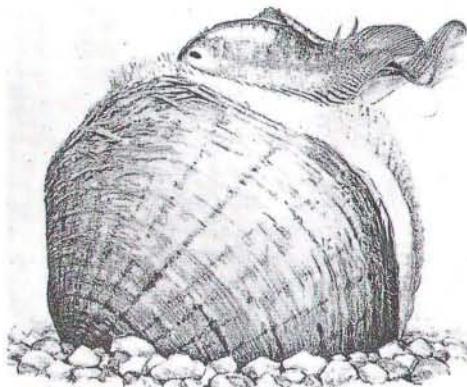
#### Omwille van het nageslacht

Het agressieve karakter van mimicry kan zelfs zo ver gaan, dat de imitator met valse signalen in een organisme weet binnen te dringen. Sommige parasieten komen hun gastheer binnen doordat ze zich voordoen als zijn voedsel en zich door hem laten verslinden. Het lijkt alsof de gastheer hen opvreert, maar uiteindelijk wordt hijzelf opgevreten. Dit komt vooral veel voor bij de wijdverbreide zuigwormen die zich als parasieten in een organisme nestelen. Sommige daarvan leven als volwassen dier in vissen: hun larven lijken op muggelarven die in het water bewegen en weer door vissen worden opgegeten.

In de darm van zangvogels leeft de platworm *Leucochloridium macrostomum*. Via vogelpoep komen de eieren van deze worm vrij. In nat grasland worden de eieren dan opgegeten door de barnsteenslak. In het lichaam van de slak ontwikkelen zich uit de worm-eieren sporocystenhouders met opvallende groene en geelbruine ringen. Overdag bevinden de sporocysten zich in de oogstelen van de slak waar ze met een frequentie van 40 tot 70 keer per minuut pulseren. Vogels die op zoek zijn naar rupsen of wormen rukken de aanlokkelijk uitzienende oogstelen van de slakken af en vreten deze zelf op of voeren ze aan hun jongen. Daarmee is de cyclus rond en is de parasiet weer in zijn uiteindelijke gastheer terechtgekomen.

Een bijzonder geslepen indruk maken sommige mosselen van het geslacht *Lampsilis*, die in Noordamerikaanse rivieren leven. De larven hiervan leven enkele weken als parasiet in de kieuwen van vissen. Daar zijn ze op de volgende manier terechtgekomen: de moeder-mosSEL vormt aan weerszijden van de mantelrand een

flap die boven de schelp uitsteekt. Bij *Lampsilis ovata* lijkt dit aanhangsel op een klein visje: aan de voorkant zit een 'kop' met oogklek en achteraan bevindt zich een 'vissenstaart'. Deze aanhangsels maken driemaal per seconde een golvende beweging en wanneer de mosSEL het water in haar broedbuidel ververst, lijkt het alsof er een visje in het water zwemt. Wordt nu een grotere vis door dit nepvisje aangelokt, dan valt er plotseling een schaduw op de mosSEL, waarna deze met kracht een hele wolk na komelingen naar buiten stoot. Het gevolg is



8

8. De mantelrand van deze Noordamerikaanse mosSEL lijkt een aantrekkelijke prooi voor een roofvis. Als die toe wil happen, spuwt de mosSEL een wolk larven naar buiten die zich in de kieuwen van de vis nestelt. De rover wordt zelf het slachtoffer.

9



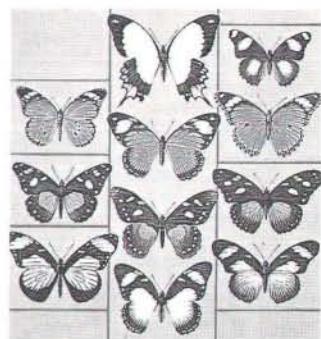
9. De eieren van de Europese koekoek lijken sprekend op de eieren van haar pleegouders. Zij zijn in de waan dat ze hun eigen nageslacht uitbroeden, terwijl de koekoek hun ei verwisseld heeft voor het hare.

10. In de gezwollen voelhoorns van de barnsteenslak zitten de larven van een op zangvogels parasiterende platworm. De pulserende, gestreepte hoorns vallen goed op en vormen een gemakkelijke prooi voor de vogels, die zo de worm binnenkrijgen.

11. Overduidelijk hebben deze vinders elkaar geïmiteerd. Het zijn allemaal verschillende soorten.



10



11

dat de echte vis deze opzuigt, zodat ze zich op zijn kieuwen kunnen hechten. Kortom: deze mossel lokt haar slachtoffers in het kader van de broedzorg naar zich toe en gebruikt ze als pleegmoeder voor haar nageslacht.

Een soortgelijk geval van agressieve mimicry is de zogenaamde ei-mimicry. De koekoek heeft zijn reputatie daarvan te danken. Al naargelang de ondersoort waartoe hij behoort, heeft de koekoek eieren met een bepaalde kleur en tekening en hij legt deze in nesten van zangvogels die precies zulke eieren hebben. De

gastouders broeden namelijk alleen die kooikoekseieren uit die ze niet kunnen onderscheiden van hun eigen eieren; zo brengen ze 'hun eigen' koekoek groot. Onze Europese koekoek verwijdt in de regel eerst een ei dat al in het nest ligt, voordat hij zijn eigen ei legt. De functie van dat gedrag is duidelijk: als een koekoek bij een nest komt waarin al een ander ei ligt, kan hij dat er maar beter uitgooien, want dat kan een koekoeksei zijn. Per nest wordt er slechts één koekoeksong grootgebracht en het eerste ei komt waarschijnlijk ook het eerst uit.

Dit zijn allemaal voorbeelden van 'agressieve mimicry', omdat de imitator schade beroktelt aan het organisme dat hij met zijn mimicry bedriegt. Of de misleide nu op zoek was naar een seksuele partner, naar voedsel of naar een onderkomen voor zijn nakomelingen – in alle gevallen is hij door het nepsignaal bedrogen en vervolgens gedupeerd.

#### Een grensgeval

Dat een onbeschermd imitator lijkt op beschermd voorbeelden, is uiteraard gunstig voor de onbeschermd partij. Dat had Henry Walter Bates, de ontdekker van de beschermende mimicry, al geconstateerd: de smakelijke soort profiteert van de gelijkenis met een onsmakelijke soort. Maar is het ook zo dat de beschermd voorbeelden ook onderling profiteren van hun gelijkenis? Zou namelijk een roofvijand de onsmakelijkheid van zijn prooi door ervaring moeten leren, dan zou hij iedere prooi die afwijkend gekleurd is eerst moeten uitproberen – of die prooi nu wel of niet beschermd is – en dat kost in beide gevallen slachtoffers. Daarom is het niet alleen voor



12. De kleurcombinatie zwart-rood heeft in de natuur vaak de betekenis 'pas op, vies'. Deze wanten versterken dat signaal door op een kluitje te gaan zitten. Zo vormen ze een ongenietbaar monster.



12

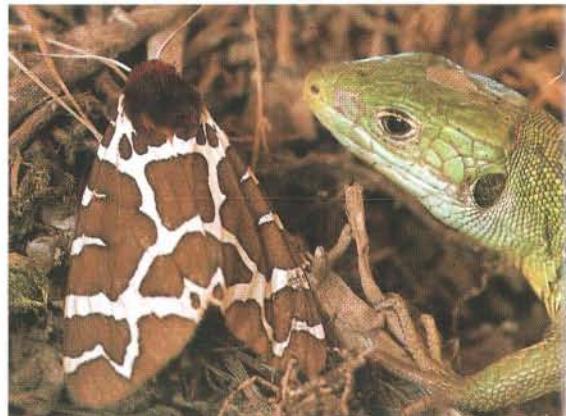
13. De rups van de Indonesische *Papilio*-vlinder heeft met z'n starende ogen en z'n gespleten tong veel weg van een gevaarlijke slang. In werkelijkheid is het echter een weerloze larve.



13

alle vertegenwoordigers van één soort maar zelfs voor vertegenwoordigers van verschillende beschermde soorten voordelig om dezelfde waarschuwingskleuren te gebruiken. Dit is een kwestie van signaal-standaardisering, die bijvoorbeeld bij veel Zuidamerikaanse vlindersoorten wordt aangetroffen.

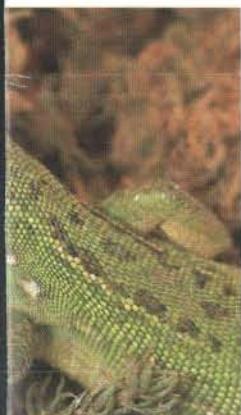
Omdat in zo'n geval vertegenwoordigers van verschillende *onsmakelijke* soorten er hetzelfde uitzien, en zich zo tegen predatie beschermen, noemde de zoöloog Fritz Müller ook dit verschijnsel 'beschermende mimicry' ondanks het feit dat er volgens de klassieke definitie altijd sprake moet zijn van een *onbeschermde* soort die dan profiteert van het imiteren van een beschermde soort. Maar ook de huidige definitie gaat in dit geval niet op, want deze stelt dat de signaalontvanger wordt *misleid* omtrent de betekenis van het signaal – en daar is hier geen sprake van: het signaal is altijd een teken van *onsmakelijkheid*. Tot welke soort zijn prooi behoort is voor de predator nauwelijks van belang. Voor seksuele partners is dat natuurlijk *wél* van belang, maar die herkennen elkaar wel aan andere signalen, meestal geursignalen.



14

16





15

14 en 15. Een beervlinder die ten prooi dreigt te vallen aan een hongerige smaragdhagedis is nog niet verloren. Als de opvallende vlinnder zijn voorvleugels spreidt, worden de felgekleurde achtervleugels zichtbaar, die duidelijk maken dat de hagedis beter een andere prooi kan zoeken.

16. De maskerwants *Reduvius personatus* is met haar bedekt om zich makkelijk met zand en stof te kunnen camouflageën. Vanuit die hinderlaag lukt het hem nietsvermoedende vliegen en andere prooien te pakken te krijgen.

### De oorsprong van mimicry

Over de manier waarop de overeenkomst tussen voorbeeld en imitator tot stand kan komen, zijn de meningen sterk verdeeld en het onderzoek ernaar is nog in volle gang. Waarschijnlijk begint mimicry met een toevallige overeenkomst. Zo wenken sommige fruitvliegjes en boorvliegen tijdens het lopen — misschien als ze op zoek zijn naar een partner — met hun zwart-wit gestreepte vleugels. Waarschijnlijk worden ze door springspinnen, die toevallig precies hetzelfde patroon hebben, en die tijdens het dreigen en baltsen op dezelfde manier met hun poten wenken, voor soortgenoten aangezien en daardoor met rust gelaten.

Hoe dergelijke, aanvankelijk toevallige overeenkomsten, als ze tenminste gunstig zijn, in de loop van de evolutie steeds verder geperfectioneerd worden, kunnen we slechts gissen. In het geval van 'valse waarschuwingskleuren' is het niet altijd moeilijk om te bedenken hoe

de imitator zou hebben kunnen ontstaan. Het is belangrijk om die mogelijkheid hier even te vermelden, omdat hij dikwijls over het hoofd wordt gezien. Een gif dat insecten met waarschuwingskleuren ongenietbaar maakt voor hun roofvijanden, is vaak afkomstig van giftige planten die door deze insecten worden gegeten. Dat heet *farmacofagie*: het eten van gif. Veel van deze insecten gedijen ook op andere, niet giftige planten, maar daar kunnen ze de

beloofte die hun aangeboren waarschuwingskleuren suggereren, niet waarmaken. Dat betekent dat ze wegens gebrek aan gif, volgens de definitie, imitators worden van soortgenoten die écht onsmakelijk zijn. Natuurlijk zijn ze dit waarschuwingssignaal niet actief gaan nabootsen, maar is een echt signaal een nepsignaal geworden.

### Van soort tot soort

Wat er binnen een soort gebeurt kan ook optreden tussen nauwverwante soorten die door hun gemeenschappelijke afstamming voor een groot deel dezelfde kleur hebben. Zijn deze soorten allemaal farmacofaag, dan zouden we hier te maken hebben met een geval van 'beschermende mimicry' à la Müller, want de verschillende soorten worden door een gezamenlijk waarschuwingssignaal tegen roofvijanden beschermd. Zou een van de soorten overgaan op gifvrije voedselplanten, dan zouden we met een echte imitator te maken hebben die zijn roofvijanden met *false* waarschuwingskleuren misleidt. Stappen slechts enkele individuen binnen een soort over op een gifloos dieet, dan is dat in een bepaald opzicht geen echte vorm van mimicry, maar zogenaamde intraspecifieke mimicry – tenzij men hen vergelijkt met de giftige vertegenwoordigers van een verwante soort die met dezelfde waarschuwingskleuren zijn getooid. Welke kwalificatie gekozen

wordt is sterk afhankelijk van de manier waarop men tegen de zaak aankijkt. Men moet echter wel goed voor ogen blijven houden dat in deze gevallen van intraspecifieke mimicry het karakter van het signaal gelijk blijft en dat bij de imitator-individuen alleen de betekenisinhoud anders is.

In sommige gevallen van intraspecifieke mimicry behoren alle betrokkenen – zowel voorbeeld als imitator en ontvanger van het

signaal – tot dezelfde soort. Als voorbeeld nemen we de Afrikaanse cichliden van het geslacht *Haplochromis*. De mannetjes dragen op hun aarsvin opvallende gele, ronde vlekken die een grote overeenkomst vertonen met de eieren van deze soort. Direct na het kuitschieten, dat op de bodem plaatsvindt, neemt het wijfje de eieren, die wegens hun grootte en kleur een gemakkelijke 'prooi' vormen, in haar bek. Dat gebeurt zelfs nog voordat het mannetje de kans krijgt om ze te bevruchten. Hij bevrucht dan de plek waar de eieren kort tevoren lagen; daarbij spreidt hij zijn aarsvin en toont het wijfje de ei-achtige vlekken daarop. Het wijfje probeert deze vlekken – alsof het echte eieren zijn – in haar bek te nemen, slikt daarbij de vrijgekomen hom in en bevrucht zo de eieren in haar bek.

Misschien kan dit voorbeeld van intraspecifieke mimicry ons helpen te begrijpen hoe imitatiessignalen tot ontwikkeling zijn gekomen. Vele signalen die bij een hoogontwikkelde sociale levenswijze een belangrijke rol spelen, zijn waarschijnlijk tot stand gekomen doordat reeds lang in gebruik zijnde signalen in een nieuwe context werden toegepast, of werden geïmiteerd op een andere plaats en in een nieuw verband. Dat geldt bijvoorbeeld voor het voor de broedzorg belangrijke 'ei'-signaal dat, op de aarsvin geïmiteerd, tegenwoordig ook de bevruchting garandeert. Bovendien werkt het signaal in het

17. Bidsprinkhanen zijn uitgesproken roofdieren. Bijna allemaal lijken ze – zoals deze Europese bidsprinkhaan – op de planten waarin ze zich ophouden, in afwachting van een iets te argeloze prooi.

18. Vlinders die er onsmakelijk uitzien hoeven dat niet per se te zijn, maar wie daarop gokt kan bedrogen uitkomen. Dat heeft deze blauwe gaai immiddels aan den lieve ondervonden.

17



18

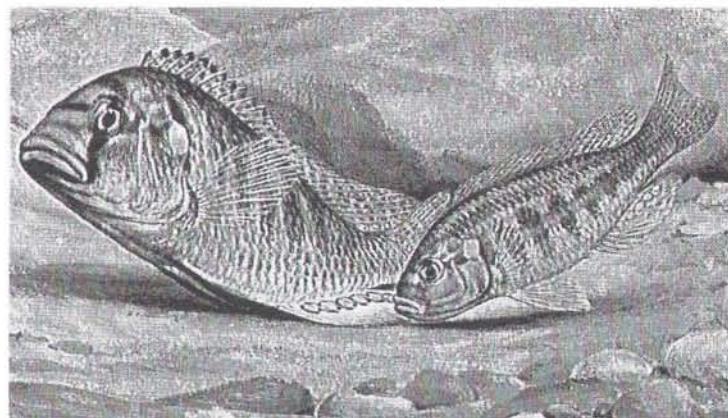


algemeen stimulerend op de wijfjes; ook als een wijfje niet op het punt staat om kuit te schieten, toont ze een duidelijke voorkeur voor mannetjes met veel en opvallende eivlekken. Worden de wijfjes met zulke mannetjes samen in een aquarium gehouden, dan produceren ze meer nageslacht. Daardoor wordt dit oorspronkelijke ouder-kind signaal nu een onderdeel van het mannelijke prachtkleed en komt het via het wijfje op het terrein van de sekuele selectie te liggen.

### Evolutie-onderzoek

Mimicry speelt een belangrijke rol in het evolutie-onderzoek. Aan de hand van een mimicry-voorbeeld kan men nagaan hoe en waarop de ontvanger van het signaal reageert; op die manier komt men erachter hoe belangrijk de afzonderlijke parameters van het signaal zijn. Maar daarvoor weet men ook wat het evolutionaire effect van de imitatie is. Zonder het optreden van imitatie zou dat vaak veel moeilijker te achterhalen zijn. Eigenlijk maken ook ethologen gebruik van mimicry, wanneer ze met namaakmodellen proberen te achterhalen op welke (nep-)signalen dieren reageren.

Al in 1862 onderkende Bates het belang van mimicry voor ons inzicht in evolutiever schijnselementen. De manier waarop in de natuur mimicry tot stand

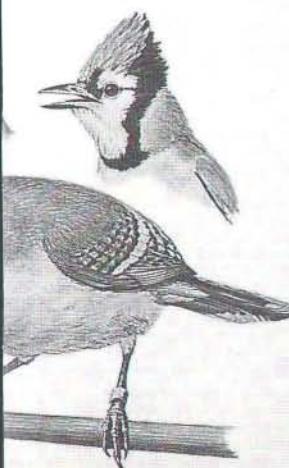


19

19. Een *Haplochromis*-wijfje neemt haar eieren vrijwel direct in de bek, nog voor de bevruchting.

Het mannetje scheidt hom af op de plek waar de eieren lagen en toont daar de ei-vormige vlekken op zijn

aarsvin. Als het vrouwtje daarnaar hapt bevrucht de wolk hom de eieren in haar bek.



komt vertelt ons namelijk iets over het ontstaan van soorten en van aanpassing in het algemeen. En dat is de kern van het evolutievraagstuk. Dat mimicry een goede kans maakt in het spel van natuurlijke selectie is niet verwonderlijk. Een *Haplochromis*-wijfje bijvoorbeeld, dat de op kuit lijkende vlekken op de aarsvin van het mannetje zou ontmaskeren als nep en er dus niet op zou reageren, zou met onbevruchte eieren blijven zitten en automatisch het slachtoffer worden van de natuurlijke selectie. Mimicry komt eerder versterkt dan verzwakt uit de selectiestrijd tevoorschijn, want nepsignalen die goed misleiden laten zich nu eenmaal niet snel ontmaskeren.

Vertaling: mw drs C. Sykora

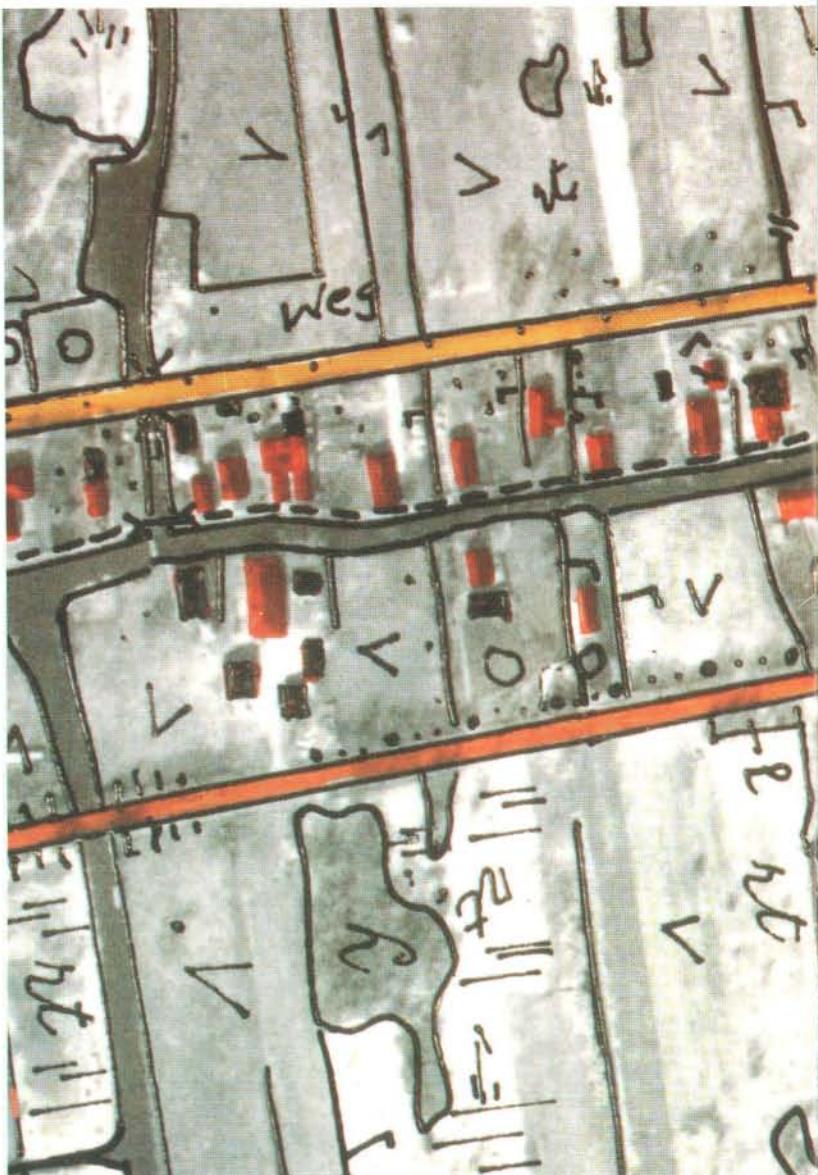
### Bronvermelding illustraties

Oxford Scientific Films, Oxford, UK: pag. 654-655, 1, 5  
C.L. Schürmann, Berkel en Rodenrijs: 2  
NOB-Fotoafdeling, Hilversum: 4  
Prof. dr A. Stolk, Noordwijk aan Zee: 6, 12, 14, 15, 16, 17  
Albatros Hengelsport BV, Rijnsburg: 7  
Herman en Ans Rijken, Wageningen: 13  
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

Drs P.W. Geudeke  
Topografische Dienst  
Emmen

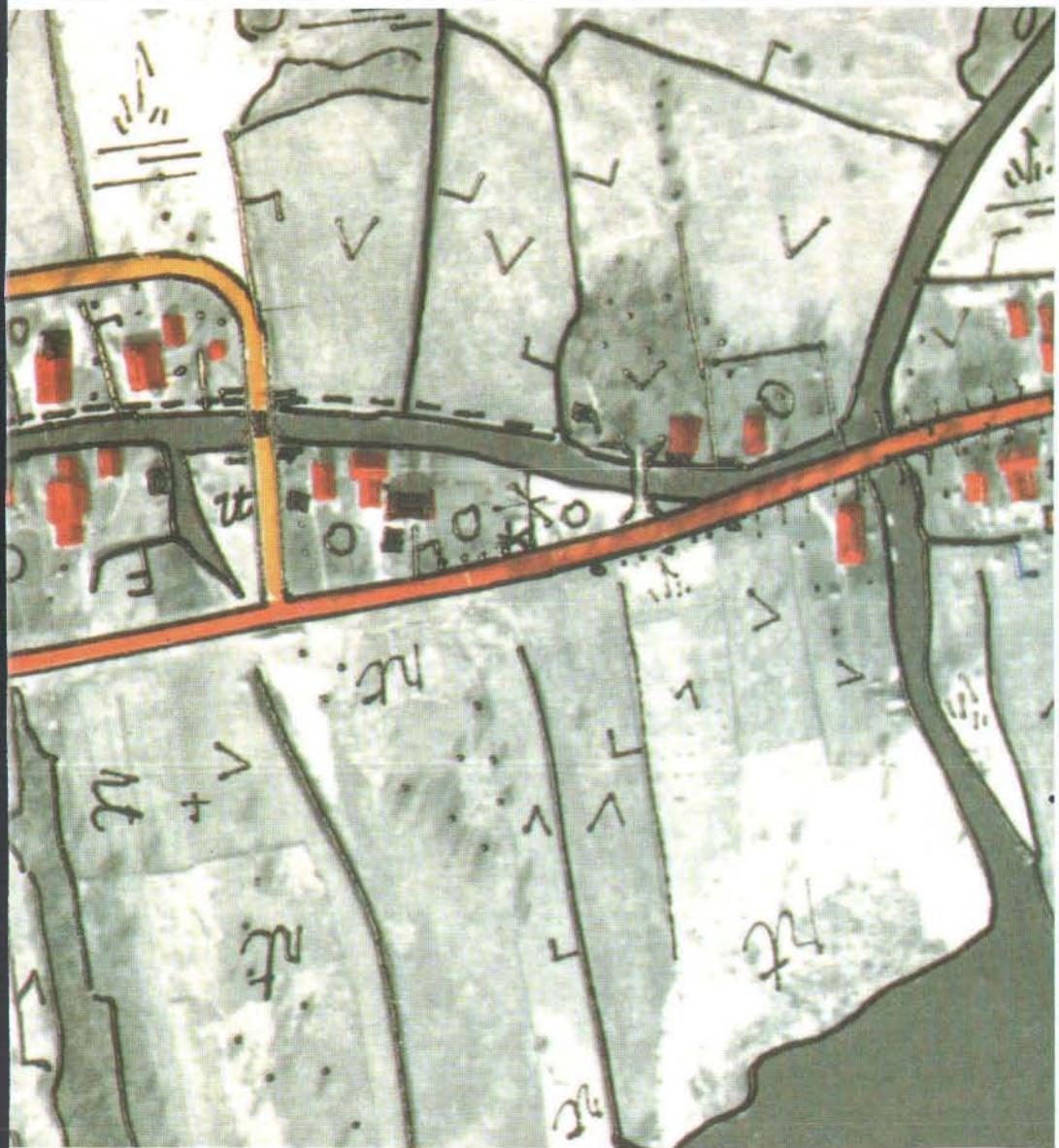
Topografische kaarten zijn verkleinde weergaven van ons aardoppervlak zoals we dat loodrecht van boven zien. Afhankelijk van de schaal van de kaart is die weergave meer of minder gedetailleerd. Luchtfoto's dienen hierbij als uitgangsmateriaal. Daarna volgt een langdurig proces dat uiteindelijk leidt tot een topografische kaart. Binnen enkele jaren is de kaart alweer verouderd door onder andere ruilverkavelingen en wegenbouw. De komst van de computer heeft het produktieproces enigszins versneld. Bovendien brengt de digitale opslag van topografische informatie nieuwe, veelbelovende mogelijkheden met zich mee.

# LAND IN TEKENING



Belt-Schutsloot als begin van een topografische kaart. De luchtfoto, met daarop de aantekeningen van de topo-graaf, zal uiteindelijk resul-teren in een kaartfragment.

1 : 25 000



De behoefte aan kaarten is vanouds identiek aan de vraag naar nauwkeurige informatie. Men gebruikt kaarten immers om zich te oriënteren, z'n plaats te bepalen, een richting te vinden waarin men wil gaan, of om de juiste grenzen van een stuk land vast te stellen en het oppervlak te bepalen. Bij het in kaart brengen van gebieden zien we dan ook een nauwe samenhang tussen de techniek van het opmeten, de landmeetkunde, en het afbeelden in een kaart, de kartografie.

Het in kaart brengen van een land, de kartering, behoort nog steeds tot de taken van de overheid. In België gebeurt dit door het Nationaal Geografisch Instituut te Brussel, in Nederland door de Topografische Dienst te Ermelo.

### De meetkundige grondslag

Topografische kaarten geven ons aardoppervlak loodrecht van bovenaf bekeken in het klein weer. De mate van verkleining noemt men de schaal van de kaart ofwel de kaartschaal. Deze staat meestal als een verhoudingsgetal of in de vorm van een schaalstok onderaan de kaart vermeld. Een kaart op schaal 1:10000 geeft de situatie 10000 maal kleiner weer dan deze in werkelijkheid is. Elke centimeter op de kaart komt overeen met 10000 cm (= 100 m) in het terrein.

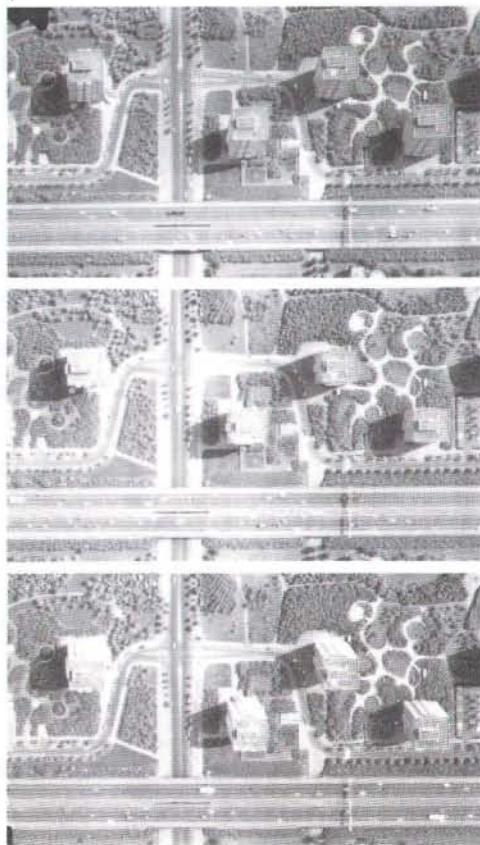
Topografische kaarten worden in de vorm van kaartseries gemaakt die het hele land in beeld brengen. In Nederland en België worden de verschillende topografische kaartseries vervaardigd op standaardschalen, te weten: 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000 en 1:250000. Een dergelijke serie bestaat uit een groot aantal losse kaartbladen die men ook kan samenbrengen tot een gebonden uitgave: een topografische atlas.

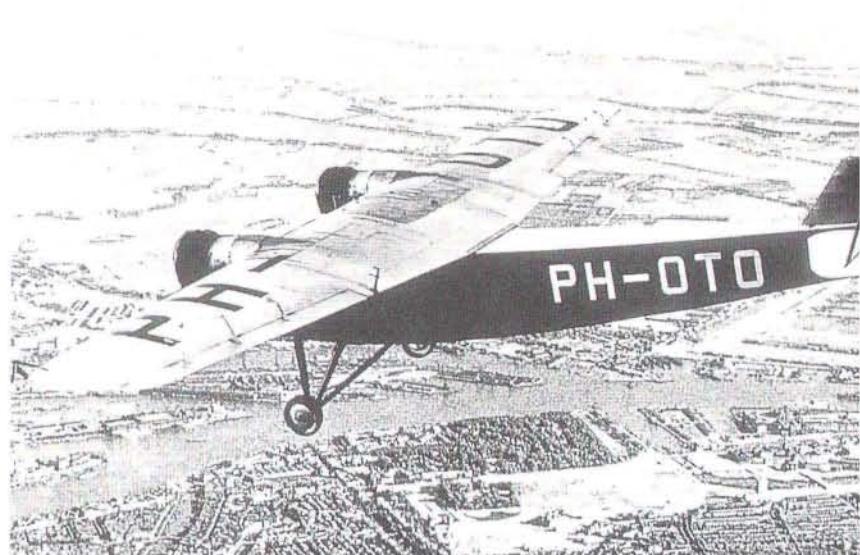
Voor de systematische kartering van een groot aaneengesloten gebied is een meetkundige basis nodig, een kader of raamwerk voor het opmeten en naderhand uittekenen van terreingegevens. Vanouds bekend is het *geografisch coördinatensysteem*. Dit is een denkbeeldig patroon van parallelle en meridianen over de aardbol. Iedere plek op aarde kan in dit raamwerk worden vastgelegd. De plaats kan men weergeven ten opzicht van twee vaste referentielijnen: de evenaar en de nulmeridiaan (de meridiaan van Greenwich).

Voor *topografische* karteringen op landelijk niveau gebruikt men in het algemeen een rechthoekig coördinatensysteem. Ieder punt bezit hierin een x- en y-coördinaat. De waarden van de coördinaten zijn vastgesteld door de lengte van de loodlijnen, die vanuit een punt op de twee assen van het coördinatensysteem worden neergelaten.

In tegenstelling tot het geografisch systeem lopen de horizontale en verticale lijnen in een rechthoekig coördinatensysteem evenwijdig. Wil men de aardbol in zo'n rechthoekig vlak afbeelden, dan levert dat altijd vervormingen op. Zelfs bij het weergeven van betrekkelijk kleine gedeelten van het aardoppervlak doet dit probleem zich voor. Met behulp van wiskundige berekeningen is deze vervorming in elk geval tot een minimum te berperken (zie Intermezzo). Van kerktorens, hoge gebouwen en andere markante punten in het gehele land

1





1. Vertekening van het beeld tijdens het maken van luchtopnamen.

2. Al in 1922 werden luchtfoto's gemaakt en wel met de Fokker VII, PH-OTHO.

2

is de ligging in een rechthoekig coördinaten-systeem nauwkeurig bekend. Ze vormen een netwerk van vaste punten, die van belang zijn om een nauwkeurige kaart te kunnen samenstellen. Aan de hand van deze punten kan men elk willekeurig ander punt of object in het terrein bepalen. De kartografische vakterm hiervoor is *inmeten*.

Behalve de ligging in het horizontale vlak wordt ook de hoogteligging (z-coördinaat) van punten in de kaart aangegeven. De meest nauwkeurige methode om de hoogte te meten is de waterpassing. Bij deze metingen gaat men uit van een referentievlek. In Nederland is dat het Normaal Amsterdams Peil (NAP), in België het Oostende Peil, dat overeenkomt met -2,3 m NAP. Op honderden plaatsen in de rest van het land zijn peilmerken aangebracht, zoals bouten en betonnen paaltjes, waarvan de hoogte ten opzichte van het referentievlek precies bekend is. Vanuit deze peilmerken kan men de hoogte van elk willekeurig punt inmeten.

Op topografische kaarten vindt men het gebruikte rechthoekig coördinaten-systeem afgebeeld als een netwerk van lijnen. De bij deze lijnen behorende getallen staan in de kaartrand afgedrukt. Hierdoor zijn de coördinaten van een punt in de kaart op eenvoudige wijze te bepalen.

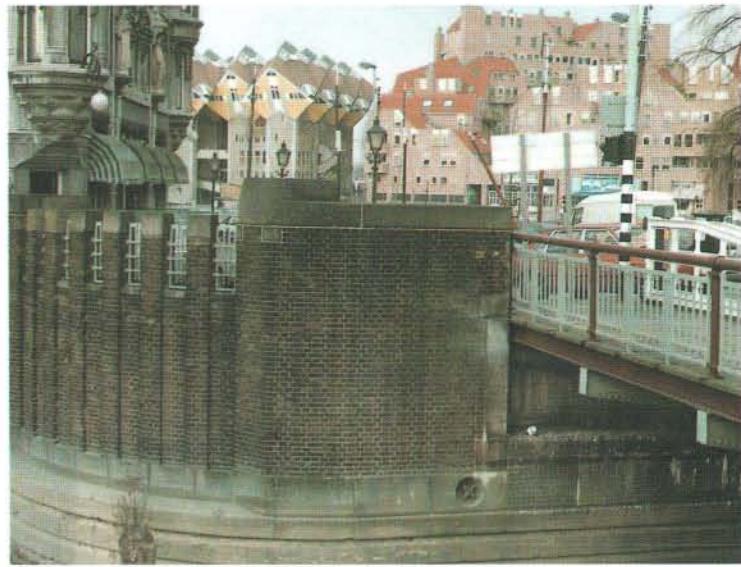
### Luchtfotografie

De moderne topografische kartering is ondenkbaar zonder het gebruik van luchtfoto's. Ze vormen het basismateriaal van waaruit in een aantal stappen de definitieve kaart tot stand komt. Luchtfoto's worden gemaakt met behulp van speciale meetcamera's. Deze zijn gemonteerd in de vloer van een vliegtuig met de camera-as loodrecht naar beneden. Men maakt hiermee zogenaamde verticaal-opnamen in aaneengesloten reeksen waarbij ervoor gezorgd wordt dat opeenvolgende foto's elkaar in de vliegrichting voor meer dan 60 procent overlappen. Deze overlap is nodig om de foto's in een later stadium stereoscopisch te kunnen bekijken.

De karteringsfoto's worden in Nederland gemaakt op de schaal 1:18000 bij een vlieghoede van 4200 m; in België respectievelijk 1:21000 en 3300 m. Om een land als België of Nederland volledig in beeld te kunnen brengen zijn ongeveer 8000 foto's nodig.

Foto's die voor karteringsdoeleinden gebruikt worden moeten aan strenge eisen voldoen en dat vormt een ernstige beperking voor de luchtfotografie. De opnamen dienen plaats te vinden bij een wolkenloze hemel, in de tijd dat de bomen geen bladeren dragen en op een tijdstip waarop de slagschaduwen minimaal

3. Na veel wikkelen en wegen heeft men uiteindelijk dit hoogtepeilmerk in de Jan Kuytenbrug te Rotterdam geslagen.



3

## ■ Projecties en driehoeksmeting ■

Het is niet mogelijk om het bolvormig aardoppervlak zonder vervormingen plat weer te geven. Om terreinelementen toch met zo min mogelijk vervorming op de kaart af te beelden moet men gebruik maken van een projectiemethode. Dit is geen meetkundige projectiewijze maar een berekeningsmethode om het verband tussen punten op het aardoppervlak en in de kaart wiskundig vast te leggen. Een volledig juiste, onvervormde afbeelding is nooit te bereiken. Elke kaartprojectie, waarvan er honderden zijn ontwikkeld, geeft een bepaalde mate van vervorming. De keuze van projectiemethode is afhankelijk van het doel waarvoor men een kaart wil gebruiken.

Er zijn grofweg drie hoofdgroepen te onderscheiden: conforme projecties, die de hoeken waarheidsgetrouw afbeelden, equivalente projecties die oppervlakten onvervormd weergeven en equidistante projecties waarbij de afstanden in de juiste verhouding worden afgebeeld. Voor topografische kaarten past men meestal de conforme projectie toe omdat deze kaarten vaak samen met een kompas voor navigatie-doeleinden worden gebruikt.

In Nederland gebruikt men bij het vervaardigen van topografische kaarten een bepaalde vorm van conforme projectie, namelijk de stereografische projectie. Daarbij is het projectievak een denkbeeldig

plat vlak dat de aarde snijdt met als centraal punt de plaats waar de Onze Lieve Vrouwetoren in Amersfoort staat. Het projectievak is zo gekozen dat de vervormingen minimaal zijn. Op de snijcirkel is de vervorming nul, elders in het land maximaal 9,2 mm op 100 m. Het centrale punt van de projectie is tevens het nulpunt van het coördinatenstelsel; dit dient als referentiepunt voor het opmeten en in kaart brengen van Nederland.

Om praktische redenen wordt thans gewerkt met een nulpunt dat ten opzichte van de oorsprong 155 km naar het westen en 463 km naar het zuiden is verschoven – dat is in de buurt van Auxerre (Fr). Hierdoor hebben alle coördinaten in Nederland positieve waarden gekregen en is bovendien direct duidelijk wat de x-coördinaat (van 0-280) en wat de y-coördinaat (van 300-620) is.

De klassieke manier om de ligging van punten op te meten is de triangulatie of driehoeksmeting. Het op te meten object vormt hierbij een hoekpunt van een driehoek waarvan de andere twee punten bekend zijn. Met behulp van een theodoliet is de hoek ten opzichte van de twee bekende punten te bepalen. Als de hoeken van deze driehoek berekend zijn kan men weer andere, aangrenzende driehoeken construeren.

Het landelijk net van vaste punten (kerktorens, hoge gebouwen enzovoorts) is in feite een aaneenge-

zijn. Daarom blijft er per jaar slechts een aantal dagen over om de opnamen te maken.

Sinds enige tijd wordt er ook gebruik gemaakt van satellietbeelden, zoals die van de Franse SPOT-satelliet. Ze hebben echter nog niet voldoende kwaliteit om de luchtfoto's te kunnen vervangen. Hun resolutie is onvoldoende, dat wil zeggen dat kleine details niet meer worden waargenomen. Objecten kleiner dan 10 x 10 m komen op SPOT-beelden niet voor. Men test nu wel de mogelijkheid om satellietbeelden te combineren met topografische informatie.

### Fotogrammetrie

Luchtfoto's bevatten vertekeningen, onder andere veroorzaakt door het feit dat het vliegtuig niet altijd perfect horizontaal in de lucht hangt. Op zulke momenten leveren de opna-

men die de vaste camera maakt geen precies beeld meer op. Een andere mogelijkheid waardoor vertekeningen ontstaan zijn de hoogteverschillen in het terrein. Twee op een helling gelegen punten lijken, loodrecht van boven gezien, dichter bij elkaar te liggen dan in werkelijkheid.

Om vertekeningen te corrigeren worden de foto's omgevormd tot een meetkundig betrouwbaar beeld. Deze bewerking noemt men fotogrammetrie. Hiervoor heeft men een aantal controlepunten, de zogenaamde paspunten, nodig. Dat zijn in het oog vallende punten in het terrein die op de luchtfoto zichtbaar zijn en waarvan de ligging in het raamwerk van vaste punten kan worden ingemeten. De paspunten zijn naderhand van belang om een precieze kaart samen te kunnen stellen.

Er bestaan verschillende bewerkingstechnieken waarmee de vertekeningen zijn te corrige-

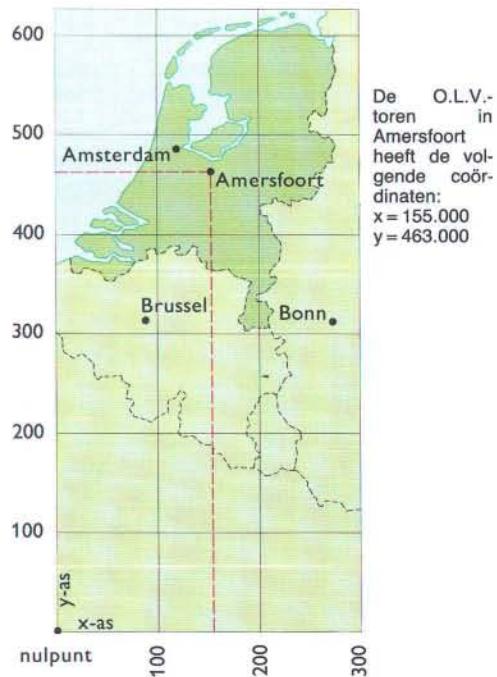
### INTERMEZZO

sloten netwerk van driehoeken. Dit netwerk is in de vorige eeuw nauwkeurig bepaald en wordt voortdurend bijgehouden en hermeten.

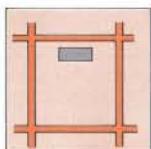
Aan de hand van de bekende punten van het basisnet worden onbekende punten ingemeten. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden. Eén daarvan is de achterwaartse insnijding, ook wel Snelliusbepaling genoemd. Hierbij bevindt men zich in een onbekend punt. Met behulp van de theodoliet kan men de hoeken ten opzichte van drie bekende punten bepalen. Uit de gemeten hoeken en de coördinaten van de bekende punten kan de ligging van het onbekende punt worden berekend.

Daarnaast is er ook nog de voorwaartse insnijding. Hierbij meet men een punt in vanuit twee bekende punten. Omdat de basis en de basishoeken bekend zijn, is ook de ligging van de top te berekenen. Voor een in te meten punt dat moeilijk te bereiken is, bijvoorbeeld een bergtop of een torensplits, heeft deze methode voordelen.

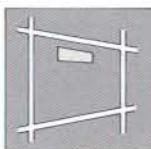
I-1. Het rechthoekig systeem: een stelsel van twee loodrecht op elkaar staande assen waarin de positie van een punt kan worden vastgelegd.



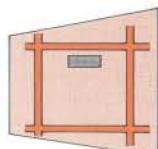
I-1



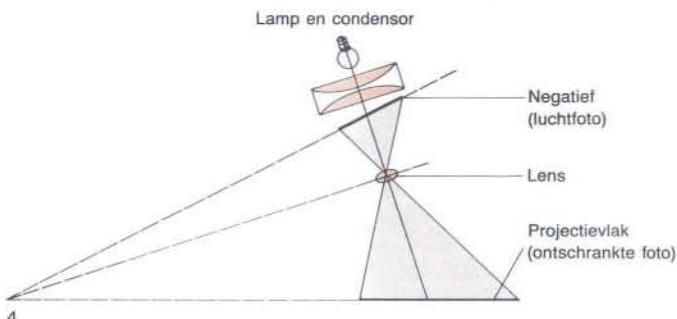
Terrein



Luchtfoto



Ontschrankte foto



4

4. Het principe van de ontschankingstechniek: Het negatief van een luchtfoto wordt zo geplaatst dat het opgenomen patroon zonder vervorming op een plat vlak wordt geprojecteerd met als resultaat de ontschrankte foto.

ren. In Nederland past men voor vlak terrein vooral de *ontschankingstechniek* toe en voor heuvelgebied de *orthofotografie*. In België is *stereokartering* het meest gebruikelijk.

Een ontschankingsapparaat is een soort vergrottingstoestel waarin een vertekende luchtfoto, met behulp van paspunten, wordt geprojecteerd op een meer of minder hellend vlak. Het resultaat is een ontschrankte luchtfoto die meetkundig betrouwbaar is. Een orthofotoscoop maakt van heuvelachtig terrein een soort compositiefoto. Deze is opgebouwd uit duizenden aaneensluitende stukjes fotobeeld die elk afzonderlijk ontschrankt en op schaal gebracht zijn. In een stereokarteerapparaat creëert men aan de hand van twee elkaar overlappende foto's een ruimtelijk beeld, waarin men lijnen kan volgen en metingen kan verrichten. Dit gebeurt met een zogenaamd meetmerk, dat door het beeld kan bewegen. De bewegingen van het meetmerk worden geregistreerd en vervolgens, na de nodige correcties op vervormingen overgebracht op een tekentafel, waarop de tekening stukje bij beetje tot stand komt.

In de luchtfoto zijn niet alle elementen terug te vinden die voor het maken van kaarten belangrijk zijn. Daarom voert de topograaf, voorafgaand aan of volgend op de fotografometrische bewerking, een terreinverkenning

5



uit. Op de fiets doorkruist hij het landschap en noteert welke details moeten worden weergegeven, wat de soort en klasse van de wegen is en welke benamingen op de kaart moeten komen. Deze gegevens worden bij de bewerking meegenomen.

#### Van basiskaart naar kaartserie

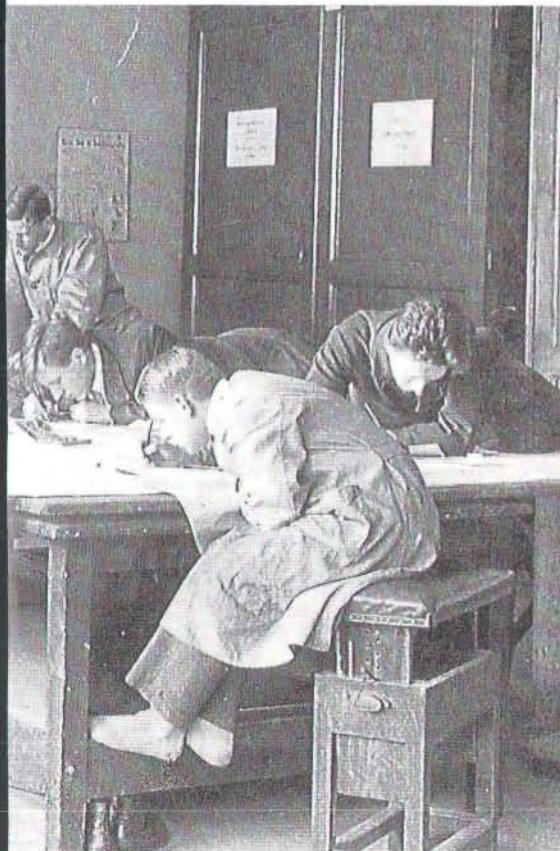
De volgende stap in het verwerkingsproces is de produktie van de basiskaart: in Nederland op de schaal 1:12500, in België op de schaal 1:15000. Eerst monteert men ontschrantte luchtfoto's, orthofoto's of tekeningen die met een stereokarteerapparaat gemaakt zijn, tot de omvang van een kaartblad. Voor één montage zijn 12 luchtfoto's nodig, die een gezamelijk gebied beslaan van 10 x 6,5 km. Het gemonterde kaartblad wordt vervolgens afgebeeld op een film waarin de kartograaf alle noodza-

kelijke lijnen en elementen graveert, met als resultaat de basiskaart.

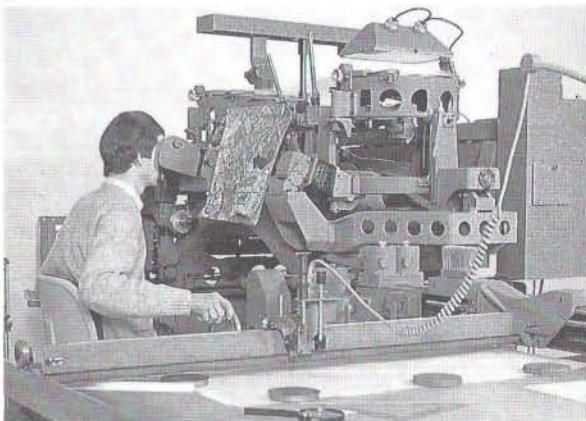
De basiskaart is het uitgangspunt voor de productie van de verschillende standaardkaartseries op de schalen 1:10000, 1:25000 en 1:50000. De kaart 1:10000 kan men rechtstreeks afleiden uit de basiskaart door deze fotografisch te vergroten. Het enige wat men nog hoeft te doen is het toevoegen van enkele namen, en de kaart kan worden gedrukt.

Bij de verkleiningen komt er iets meer werk aan te pas. De topografische kaart 1:25000 ontstaat door twee basiskaarten samen te voegen en daarna fotografisch te verkleinen. Voordat men de kaart kan drukken moeten de kleuren voor wegen, water en bos en de benamingen nog worden toegevoegd.

De kaart 1:50000 is niet zomaar uit de basiskaart af te leiden. Door de viervoudige verkleining zou een opgepropt en onleesbaar kaart-



6

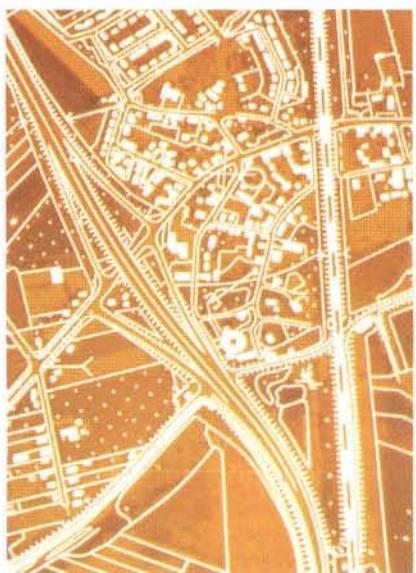


5. Vroeger kostte het maken van een topografische kaart ook al veel mensenuren.

6. Bij het werken met een stereokarteerapparaat kan de kartograaf geen vals licht gebruiken.



7



beeld ontstaan. Daarom moet men dit eerst vereenvoudigen met behulp van een techniek die men *generalisatie* noemt. Hierbij worden de minst belangrijke details weggelaten: kleine bochten worden rechtgetrokken, losse huizen worden samengevoegd tot bebouwd gebied. Schaalverkleining leidt ook tot een versmalling van de wegen, die op de basiskaart op de juiste breedte (op schaal) zijn weergegeven. Dus moet men met het oog op de leesbaarheid ook hier aanpassingen aanbrengen. Op de kaart 1:50000 geeft men de wegen weer met behulp van een standaardbreedte die naar verhouding groter is dan de werkelijke breedte van de wegen.

Het zal duidelijk zijn dat de generalisatie bij de kaartseries 1:100000 en 1:250000 nog verder moet worden doorgevoerd. Slootjes verdwijnen en kleine plaatsen worden als cirkels weergegeven. Men gebruikt bij deze kaarten veelal symbolen om bepaalde objecten aan te duiden.

### Kartografische vormgeving

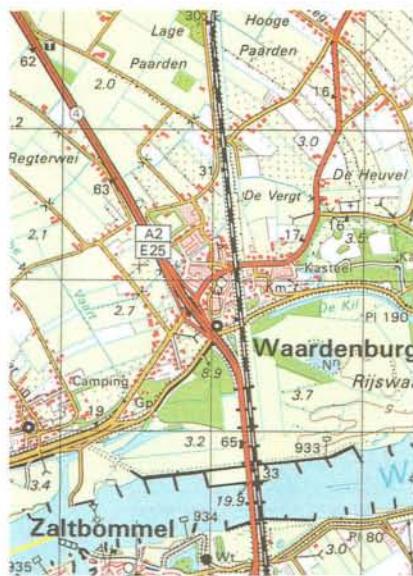
De laatste en tevens meest bewerkelijke stap (van ongeveer zes maanden) is de kartografische vormgeving: de omzetting van generalisatiemodel tot kaartorigineel. De getekende generalisatiemodellen, meestal op grotere schaal

gemaakt, worden verkleind tot hun definitieve schaal en samengevoegd tot de grootte van één kaartblad. Deze montage wordt fotografisch overgebracht op een aantal graveervlakken, waarin de kartograaf de lijnen en symbolen volgens vastgestelde maten aanbrengt.

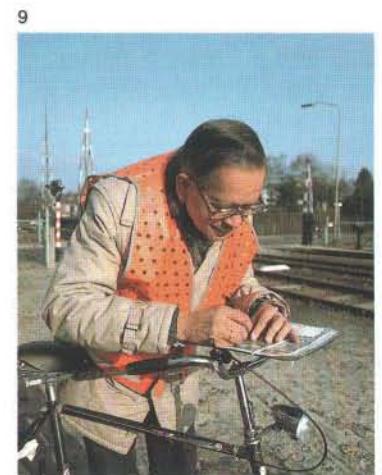
Om een kaart in meer kleuren te kunnen drukken is het bovendien noodzakelijk dat alle kaartelementen per kleur op een apart deelorigineel staan. Daarom worden, na het graveren van de lijnelementen, afzonderlijke deeloriginelen gemaakt voor de kleurvlekken en voor de namen op de kaart. Hierbij gaat men uit van zes kleuren: zwart, blauw, rood, groen, geel en bruin. Andere kleuren zijn te verkrijgen door de gewenste elementen op meerdere deeloriginelen aan te brengen, zodat mengkleuren ontstaan. De uiteindelijke originelen verkrijgt men door de deeloriginelen voor elke kleur te belichten op een film. Zo ontstaan voor elke kaart zes eindoriginelen.

De zes films worden vervolgens gekopieerd op aluminium drukplaten waarna de kaart gedrukt kan worden. Na snijden en vouwen is de kaart gereed voor de verkoop.

Een eenmaal geproduceerde topografische kaart veroudert snel. Dat is te wijten aan de voortdurende verandering van het landschap ten gevolge van wegenbouw, stadsuitbreiding en ruilverkaveling. Om te voldoen aan de

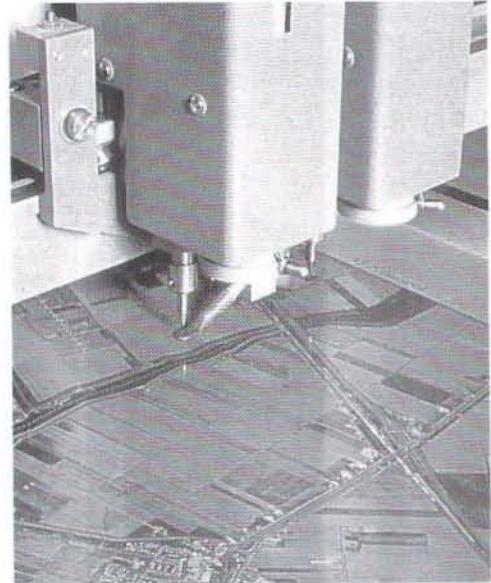


7. Verschillende fasen in het karteringsproces: Een verkenningsfoto op schaal 1:10000 met aantekeningen van een topograaf, de basiskaart op schaal 1:25000, het gegeneraliseerde model hiervan op dezelfde schaal en de definitieve kaart op schaal 1:50000.

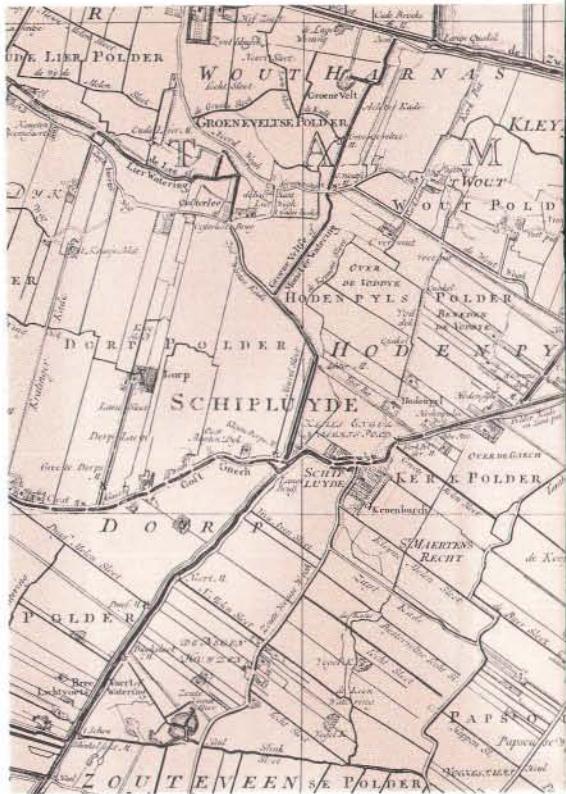


8. Het graveren van de gemonteerde films is een belangrijk en precies werk. Het resultaat, de basiskaart, vormt immers het uitgangspunt van de eigenlijke topografische kaarten.

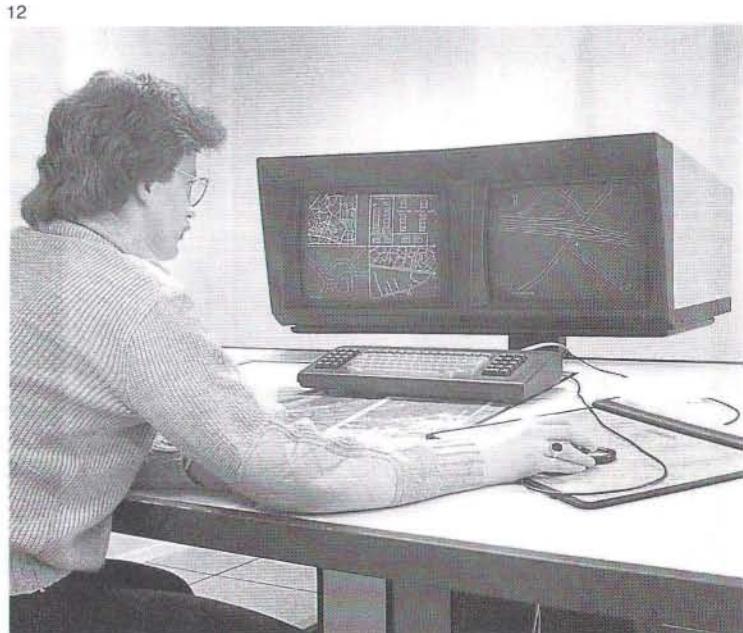
9. Tijdens zijn verkenningstocht op de fiets verwerkt de topograaf zijn opmerkingen in de luchtfoto van het terrein.



10

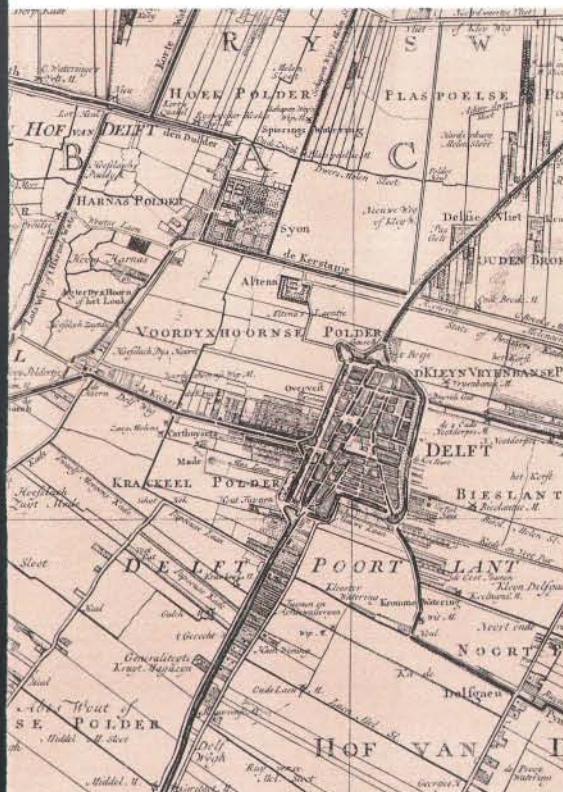


11



12

10, 11, 12. Nicolaas Cruquius had geen tekentafel (10) tot zijn beschikking toen hij rond 1750 de overzichtskaart van het Hoogheemraadschap van Delfland maakte op een schaal 1:45 000 (11). Tegenwoordig zet men grafische informatie uit luchtfoto's of kaarten om in digitale vorm. Dit gebeurt aan de zogeheten digitaliseertafel.



vraag naar recent kaartmateriaal worden de kaartbladen stelselmatig herzien en opnieuw uitgegeven. Deze cyclus is niet voor ieder kaartblad gelijk. Sommige bladen worden om de 10 jaar vernieuwd, andere nog sneller: al na 5 jaar.

### Digitaal

Sinds een aantal jaren past men ook digitale technieken toe bij de productie van topografische kaarten, bijvoorbeeld bij de kaartseries 1:50000 en 1:250000. De ingetekende elementen op het generalisatiemodel zijn met een meetloupe te volgen, waarbij de gegevens digitaal worden opgeslagen. De meetloupe werkt ongeveer als het meetmerk.

Tevens voegt men een code toe die de aard van de elementen nader aanduidt. Zo ontstaat een digitaal bestand dat men gebruikt om de kaart op een automatische tekentafel te graven. Doordat men bij een volgende herziening

dit bestand weer kan gebruiken wint men aanzienlijk in produktietijd. In België en Nederland onderzoekt men nu de mogelijkheid om ook de basiskaart te digitaliseren, met alle voordelen van dien.

Tegenwoordig zijn digitale bestanden met topografische gegevens ook bruikbaar voor andere toepassingen dan kaartproductie. Dit geldt met name voor bestanden waarin de terreinhoogten zijn opgeslagen, de zogenaamde hoogtemodellen. Men gebruikt ze voor het vervaardigen van profielen en voor de planning van tracés van straalverbindingen. Daarnaast vormen digitale topografische bestanden de basis voor bijvoorbeeld militaire simulatie-technieken en verkeersbegeleiding. Voor deze toepassingen zijn echter ook nog aanvullende niet-kartografische gegevens nodig over bijvoorbeeld terreingesteldheid en verkeerssituaties.

Het is de taak van de nationale karteringsdiensten om de topografische basisinformatie ook voor deze nieuwe mogelijkheden en toepassingen in een geschikte vorm aan te bieden. Kwaliteit, betrouwbaarheid en actualiteit blijven daarbij het hoofdkenmerk. Met deze ontwikkeling is ook voor deze diensten een nieuw en uitdagend tijdperk in hun bestaan ingeluid.

### Literatuur

Grote Provincie Atlas (t.z.t. 12 delen) of Grote Topografische Atlas van Nederland (4 delen), Wolters Noordhoff, Groningen.

### Bronvermelding illustraties

Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat, Delft: 3  
KLM-Aerocarto, Den Haag: 2

De overige illustraties zijn afkomstig van de Topografische Dienst, Emmen.

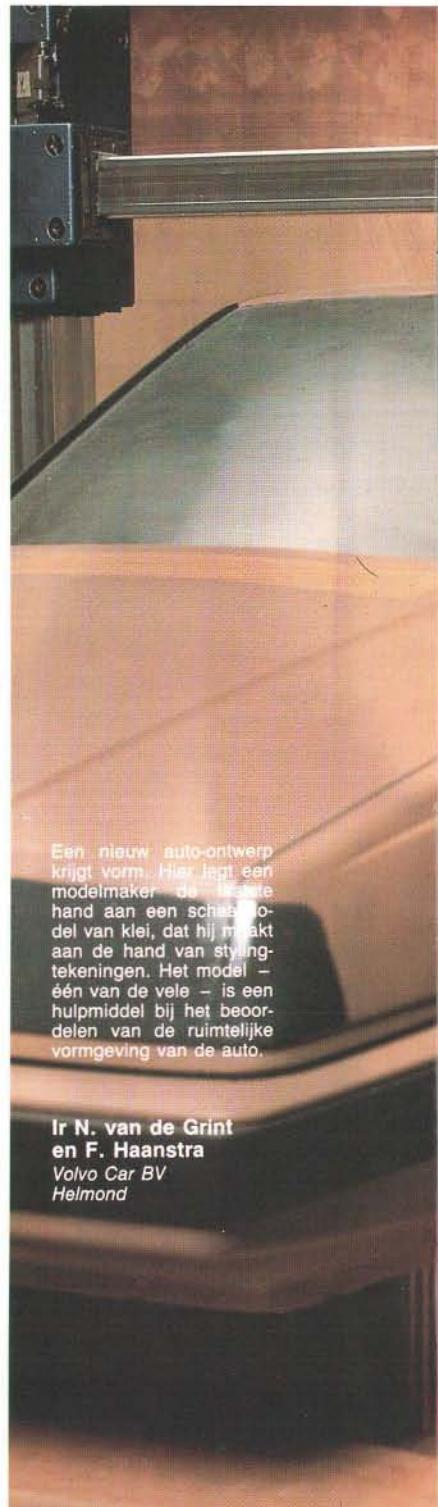
# AUTO *ontwerpen*

## DE KWEEKSTAL VAN DE HEILIGE KOE

Er gaat vrijwel geen maand voorbij of er verschijnt wel ergens op de wereld een nieuw type personenauto. Toch duurt de ontwikkeling van een nieuw automodel al gauw een jaar of vijf. De motor, de remmen, de carrosserie en alle andere onderdelen van een auto zijn immers op zichzelf staande systemen en componenten, waaraan zeer zware, sterk uiteenlopende en soms zelfs tegenstrijdige eisen worden gesteld. Toch moeten ze uiteindelijk samen in één voertuig kunnen functioneren.

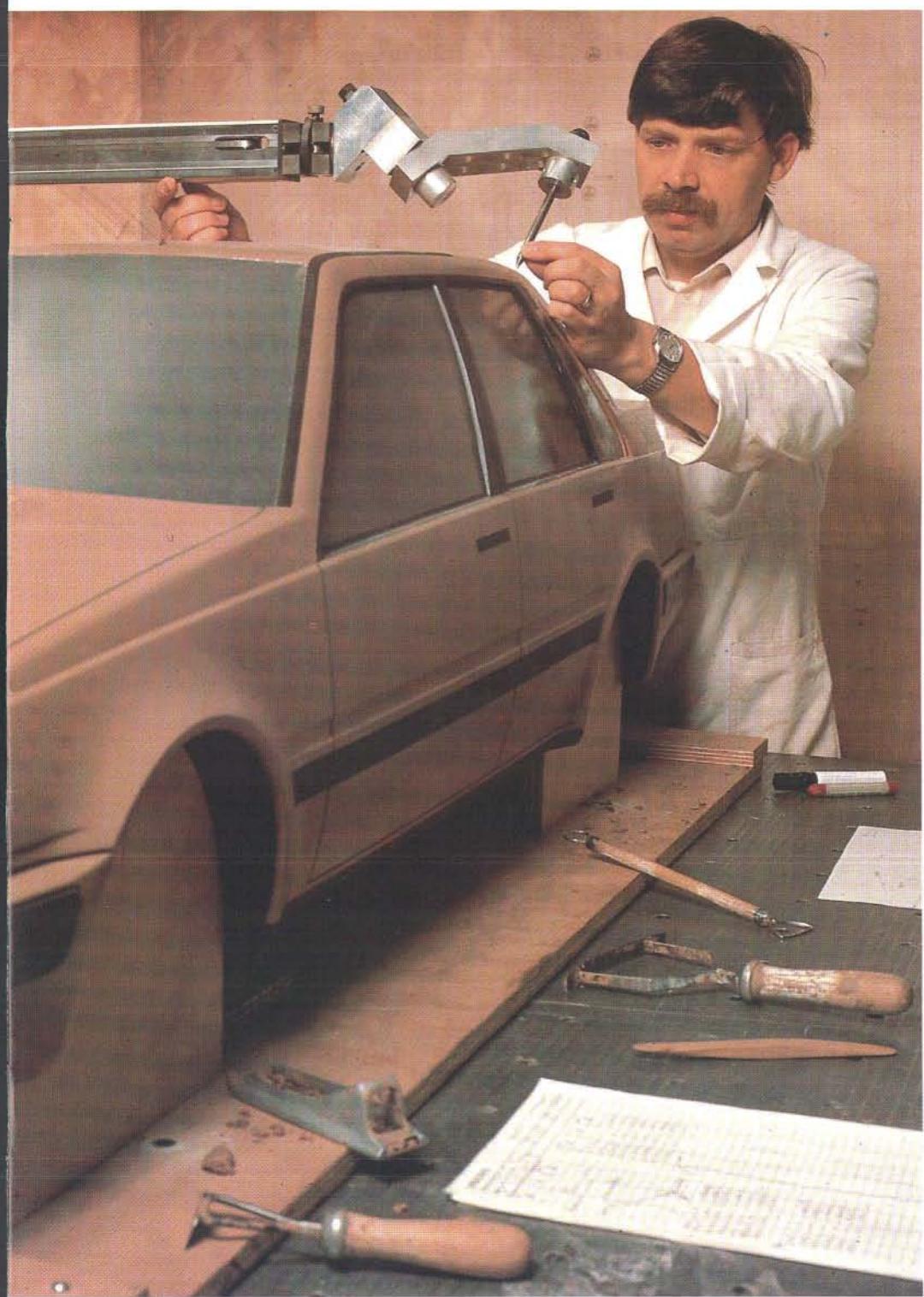
Het ietwat romantische beeld dat verhalen en illustraties in de autovakpers vaak oproepen over de ontwikkeling van nieuwe automodellen, laat doorgaans maar een paar aspecten zien van wat er zich werkelijk afspeelt in de auto-industrie. Over het algemeen kost het ontwerpen van een nieuwe auto tussen de één en twee miljard gulden. Het aantal betrokken personen, de produktplanners, ontwerpers, constructeurs, analisten, onderzoeks- en beproevingsspecialisten, proces- en produktievoorbereiders, inkopers, marktverkenners en andere specialisten zit al snel boven de 1000. Aan de hand van een voorbeeld, de ontwikkeling van de Volvo 400-serie, zullen we laten zien hoe een nieuwe generatie personenauto's gestalte krijgt.

Allereerst proberen mensen uit uiteenlopende disciplines, aan de hand van globale richtlijnen, een gefundeerd concept op te stellen. Marktonderzoekers speuren naar het gat in de markt en ontwerpen een klantenprofiel; technische en financiële specialisten berekenen wat voor welke prijs leverbaar is; stilisten doen de eerste voorstellen voor de vormgeving en technici analyseren de mogelijkheden van alternatieve produktiesystemen en -methoden. Er wordt, kortom, een grote scala van voorfase- en haalbaarheidsstudies uitgevoerd, die uiteindelijk moet uitmonden in een pakket van functionele voertuigisen.



Een nieuw auto-ontwerp krijgt vorm. Hier legt een modelmaker de laatste hand aan een schaalmodel van klei, dat hij maakt aan de hand van stylingtekeningen. Het model – één van de vele – is een hulpmiddel bij het beoordelen van de ruimtelijke vormgeving van de auto.

Ir N. van de Grint  
en F. Haanstra  
Volvo Car BV  
Helmond



Al in deze eerste studiefase speelt de computer een rol bij het uitvoeren van allerhande simulaties en berekeningen om snel te kunnen vaststellen of de voorgestelde constructieprincipes bruikbaar zijn. De computer geeft niet alleen tijdwinst en kostenbesparing, maar leidt ook tot een beter product en verruimt de mogelijkheid om alternatieve ontwerpen en fabrikgagemethoden te onderzoeken.

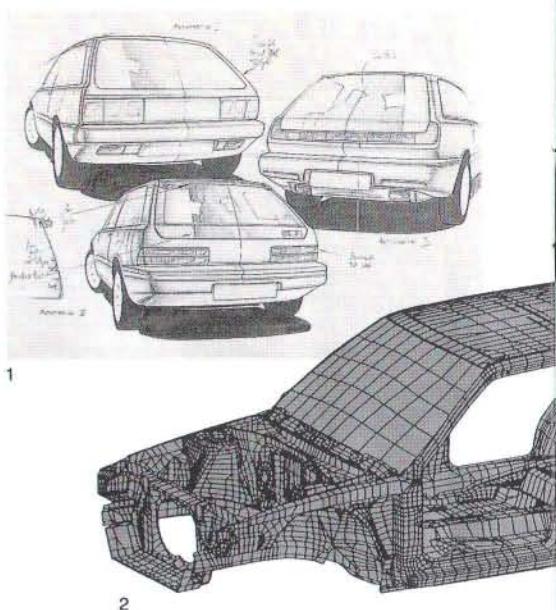
De fase van de projectbeschrijving wordt gewoonlijk afgerond met een directiebeslissing over stoppen of doorgaan. Bij een positieve beslissing gaat het project zijn tweede fase in, die van de voorontwikkeling. Hierin vallen drie hoofdactiviteiten te onderscheiden: het interieur en exterieur worden verder gestileerd, de techniek van de auto wordt nader in beeld gebracht en het produktieproces wordt ingevuld. Zo snel als deze fase te omschrijven is, zo complex is de uitvoering ervan.

Tijdens de voorontwikkeling werkt men nog niet aan de gedetailleerde en definitieve uitvoering van de afzonderlijke componenten. Het gaat hier allereerst om de auto als een samenstel van onderdelen, bijvoorbeeld van de aandrijvings-, motor-, koel-, en remsystemen. In een auto hangt namelijk alles met alles samen. Op de meest onverwachte manieren hebben onderdelen van geheel verschillende systemen invloed op elkaar. Ze kunnen elkaar in de weg zitten, maar elkaar ook door trillingen of door elektromagnetische en mechanische pulsen beïnvloeden. Na afloop van de voorontwikkelingsfase mogen er geen systemen meer in het ontwerp voorkomen die elkaar niet verdragen.

### Test per computer

In het vroege projectstadium, waarin nog geen of onvoldoende prototypen van het voertuig beschikbaar zijn, kunnen computersimulaties wezenlijk bijdragen tot de keuze van betere concepten, verhoging van de kwaliteit, verlaging van de kosten, en verminderen van het aantal te beproeven varianten. Aan de hand van het resultaat van de simulatie zal de constructeur of specialist het gedrag van een constructie kunnen analyseren en kunnen beoordelen in hoeverre dit gedrag aan zijn eisen voldoet.

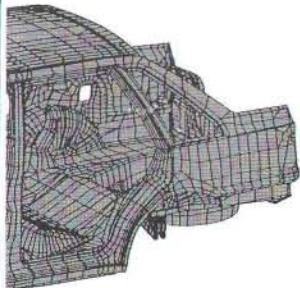
Dag en nacht leveren de computers nu de resultaten van berekeningen af. Keer op keer worden ze gevoed met nieuwe constructie-



ideeën die moeten worden gecontroleerd op hun mechanische, materiaaltechnische en produktietechnische haalbaarheid. Voor het ontwerpen van het interieur, denk bijvoorbeeld aan plaatsing en verstelbaarheid van stoelen, stuurwiel en dashboard-elementen, voeren ergonomen met behulp van simulatieprogramma's ergonomische studies uit. De belastings- en geometrieberekeningen van de wielophangingssystemen worden eveneens in de computer geanalyseerd. Telkens plaatsen de resultaten de constructeurs voor nieuwe keuzen.

Een voor ontwerpers onmisbaar gereedschap bij het analyseren van constructies en ontwerpen op de computer is de *eindige-elementenmethode*, afgekort tot EEM (zie intermezzo I). Deze methode is met name geschikt bij de ontwikkeling van systemen waarvan de bedrijfszekerheid 100% moet zijn, zonder dat die eerst kan worden uitgetest (bijvoorbeeld in de nucleaire industrie en de ruimtevaart), of waarvan de kosten voor het bouwen van de prototypen zó hoog zijn dat men niet teveel varianten kan beproeven (met name in de vliegtuig- en automobielindustrie). Al in een vroeg stadium van de ontwikkeling wordt EEM ingezet voor een kwalitatieve vergelijking van bepaalde constructies. Vooral de analyse van carrosserieontwerpen is belangrijk

1. De veronderstelde smaak van de consument over enkele jaren, speelt bij het ontwerp een belangrijke rol.
2. Een EEM-model van een complete carrosserie.
3. De menselijke maat is voor het interieur het belangrijkste uitgangspunt.



3

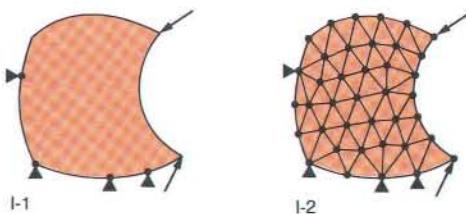
## De eindige-elementenmethode

Met de komst van grote en snelle computers in de jaren zeventig, heeft het gebruik van de eindige-elementenmethode (EEM) een hoge vlucht genomen. De krachtige computers zijn nodig voor het oplossen van de stelsels vergelijkingen die ontstaan bij deze methode.

Het principe van EEM illustreren we aan de hand van een vlakke plaat (afb. I-1). Deze plaat is onregelmatig van vorm en er staan een aantal uitwendige belastingen op. Bovendien is de plaat aan de rand op verschillende plaatsen ingeklemd en ondersteund.

Langs analytische weg is het niet meer mogelijk de verplaatsingen en spanningen als gevolg van de belasting te berekenen. Met de eindige-elementenmethode kan dat wel. De plaat wordt daartoe opgedeeld in kleine 'elementen' van eenvoudige vorm (afb. I-2), waarvan we de eigenschappen bij benadering kennen. Met eigenschappen bedoelen we hier: de verplaatsingen van de hoekpunten en de spanningen binnen elk element ten gevolge van de uitwendige belasting.

De hoekpunten, die de elementen onderling verbinden, heten knooppunten. In de knooppunten zijn de discrete waarden van benaderingsfuncties  $u(x)$  bekend en eventueel ook de afgeleiden  $u'(x)$  daarvan. Nu is  $u(x)$  een vectorfunctie met doorgaans zes com-



ponenten, drie translaties en drie rotaties, en afhankelijk van de coördinaten  $x$ ,  $y$  en  $z$ . Binnen elk element worden de werkelijke verplaatsingsvelden  $u(x)$  benaderd door zogenaamde polynoomfuncties, zodanig dat binnen het element deze functies continu differentieerbaar zijn en eenduidig van de functiewaarden in de knooppunten afhangen.

Met behulp van de hiervoor aangeduide principes en wat wiskundige bewerkingen is voor één element af te leiden:

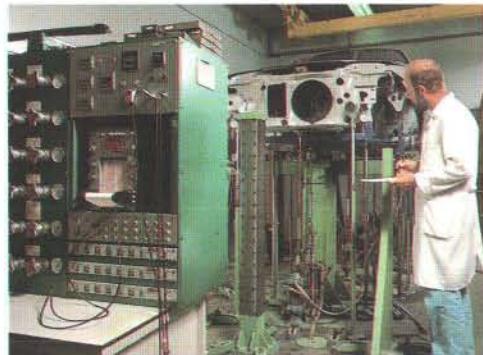
$$qu = f$$

waarin  $q$  de zogenaamde elementstijfheidsmatrix is en  $u$  en  $f$  per element respectievelijk de vector met

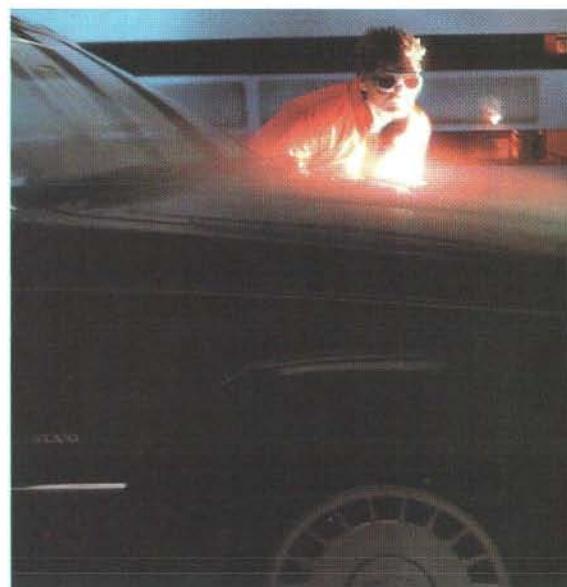
4. Een testingenieur onderzoekt in deze proefopstelling de stijfheid van een carrosserie met de zogenaamde buddoproef.

5. Omdat 'aërodynamisch' bijna synoniem is met 'zuinig', besteden ontwerpers

veel aandacht aan de stroomlijn van een auto; hier in een windtunnel.



4



5

## INTERMEZZO I

knooppuntverplaatsingen en de vector met knooppuntbelastingen voorstellen.

Door alle elementen van de constructie samen te stellen, ontstaat het stelsel vergelijkingen, waarmee bij benadering de verplaatsingen als gevolg van de belasting F op te lossen zijn, namelijk:

$$QU = F$$

Q is nu de stijfheidsmatrix van de hele constructie en U de op te lossen vector met alle knooppuntverplaatsingen. De krachtvector F wordt verkregen door: de verdeelde belastingen over alle elementgrenzen te integreren, de volumekrachten (de zwaartekracht is er zo een) over het volume van alle elementen te integreren en de krachten die aangrijpen in alle knooppunten bij elkaar op te tellen.

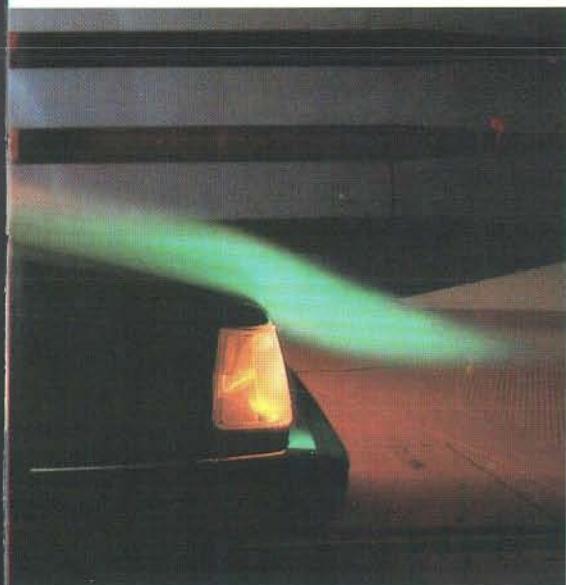
Bij de bepaling van de elementstijfheidsmatrix, wordt ook een vergelijking bepaald die de relatie geeft tussen de rek (dus spanning) en de knooppuntverplaatsingen van een element. Door deze vergelijking op te lossen kan men per element de optredende spanningen bepalen.

Afhankelijk van de te onderzoeken constructie en de probleemstelling zijn verschillende typen elementen beschikbaar, bijvoorbeeld vlakke elementen en volume-elementen. Gevoed met de juiste randvoor-

waarden is een computer in staat het stelsel EEM-vergelijkingen op te lossen. Voor lineaire analyses gebruikt men bij Volvo Car voornamelijk het programma NASTRAN en voor niet-lineaire analyses ABAQUS.

In de praktijk werkt EEM als volgt: van een constructie wordt allereerst een elementverdeling gemaakt. Dit gebeurt met behulp van een zogenaamde preprocessor. Dit programma maakt de invoer van meetkundige gegevens mogelijk, waarbij het niet uitmaakt of iemand de gegevens via een toetsenbord invoert, of dat ze van een andere computer, bijvoorbeeld een computerondersteund ontwerpsysteem (CAD), afkomstig zijn. Afhankelijk van het gekozen elementtype kan het programma nu een elementverdeling maken die geschikt is voor een rekenprogramma, zoals NASTRAN. Als vervolgens ook de randvoorwaarden en de uitwendige belastingen zijn ingevoerd, kan het rekenprogramma van start. De resultaten van de EEM-bewerking lenen zich uitstekend voor een kleurrijke grafische weergave. Ondanks het vernuft van de computer, zijn het uiteindelijk echter de technici die de gevolgen van een belasting op de constructie juist moeten beoordelen.

**Ir J. Huibers**



vanwege de zware eisen ten aanzien van sterkte, stijfheid en crash gedrag.

Is een concept eenmaal gekozen, dan volgt de uitwerking ervan tot constructie voorstellen. Naarmate de gedetailleerdheid van de constructie vordert, neemt ook de detailering van het EEM-model toe. Uiteindelijk volgt een berekening met een compleet model van een auto (afb. 2). Aan de hand van de resultaten worden zwakke plekken opgespoord en volgen er met berekeningen geverifieerde verbeterings voorstellen om deze te elimineren.

#### Het prototype

De integratie van de produkt- en produktie ontwikkeling kan bij de tegenwoordige, complex samengestelde auto's niet vroeg genoeg beginnen: ze worden namelijk gemaakt met behulp van sterk geautomatiseerde produktiesystemen. In deze integratiefase wordt van be-



6

6. Ondanks de beschikbaarheid van geavanceerde computerprogramma's, die veel eigenschappen van een voertuig kunnen

voorspellen, blijft het omdat van de veiligheid van de inzittenden nodig complete auto's op te offeren. Deze heeft een botsing bij

50 km/h achter de rug. Dat dergelijk destructief onderzoek een kostbare aangelegenheid is, behoeft geen betoog.

paalde componenten en van complete voertuigen een prototype gebouwd.

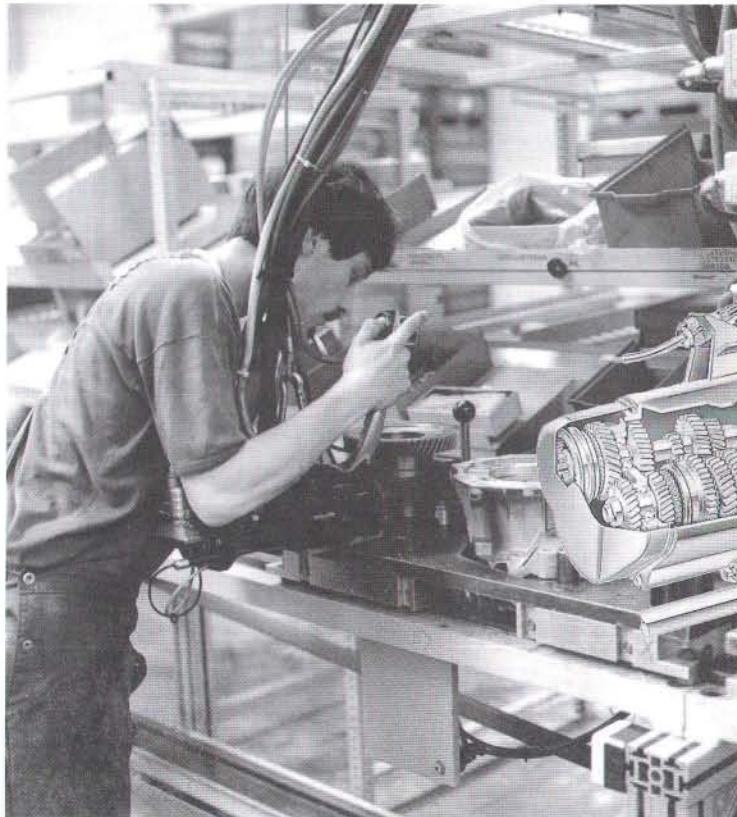
De bouw van prototypen is bijzonder kostbaar. Vaak worden diverse systemen die de toets der kritiek tot dan toe hebben doorstaan, achter elkaar op één prototype getest. Opnieuw leidt dit tot een schifting van goede en minder goede oplossingen.

De beste alternatieven worden vervolgens, opnieuw met behulp van de computer, verder geoptimaliseerd; zowel afzonderlijk als in samenhang met andere componenten. Men bestudeert daarbij vooral of de gekozen systemen elkaar goed verdragen en of ze ook gezamenlijk in het productieproces zijn onder te brengen. Zo mogen bijvoorbeeld een wielophangingssysteem en een remssysteem elkaar niet in de weg zitten; bovendien mogen hun prestaties elkaar niet beïnvloeden en moeten de onderdelen in een logische volgorde in te bouwen zijn (zie intermezzo II).

Een laatste stap in deze fase is het vaststellen van de onderdeeltoleranties en de samenstellingstoleranties. Geen enkel onderdeel is te produceren zonder dat er een afwijking van de opgegeven ideale maten in optreedt. Tijdens het ontwerpen moet de constructeur daar voortdurend rekening mee houden. Daarom moet hij altijd vermelden binnen welke grenzen een bepaalde maat moet vallen. Dat geschieht door op de tekening de gewenste maat en de toegestane afwijkingen naar boven en naar onder op te geven.

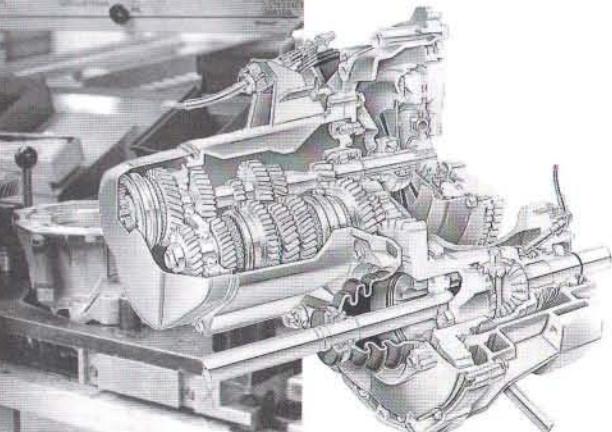
Bovendien bestaat een systeem altijd uit meerdere onderdelen. Afwijkingen in de componenten werken dus door in de toleranties van het geheel. De onderdelen moeten uiteraard zo worden geproduceerd en samengebouwd dat het systeem de toegestane marges niet overschrijdt. Hiertoe voert de constructeur zogenaamde tolerantiestudies uit, die in intermezzo III worden uitgelegd.

7



7 en 8. Ingewikkelde, samengestelde onderdelen, zoals een versnellingsbak, vergen naast een gedacht ontwerp een constante, hoge produktiekwaliteit. Daarbij blijft de vakman onmisbaar.

8



9. In een geluiddode ruimte is nauwkeurig te bepalen hoe lawaaiiger een auto is. Daarbij let men zowel

op het geluid dat de auto in het voorbijraken produceert, als op het geluid dat de inzittenden horen.



9

De maatvoering die op de uiteindelijke constructietekening van een produkt is vermeld, is tot stand gekomen door overleg tussen produkt- en processspecialisten. Te nauwe tolerances leiden tot dure produkten; te brede tolerances leiden tot niet-werkende produkten. Er moet een compromis gevonden worden.

#### Van projectdefinitie naar realisatiefase

Uiteindelijk elimineren de ontwerpers alle niet haalbare oplossingen. Er blijven een paar alternatieven over die de harde testpraktijk in het laboratorium of op de weg zullen ondergaan. Weliswaar zijn alle ontwerpen op rekenen simulatiemodellen gebaseerd, maar het blijft beslist nodig een aantal zaken proefondervindelijk in het laboratorium of op de weg na te gaan.

Op grond van wat de ontwerpers hebben bereikt volgt een nieuwe directiebeslissing: het

## Computersimulaties

Een computersimulatie bestaat altijd uit de volgende onderdelen: een fysisch model, een computerprogramma waarin het fysisch model is 'opgeslagen', invoer van gegevens en commando's en uitvoer in de vorm van tekst of grafieken.

Het fysische model represeneert de beschrijving van de werkelijkheid en bestaat in de regel uit een stelsel differentiaalvergelijkingen. Wanneer we een situatie willen simuleren waarin een periodiek verschijnsel met een bepaalde frequentie optreedt, is het vaak handig om het stelsel vergelijkingen te schrijven als functie van die frequentie. In dat geval is het stelsel met behulp van de computer relatief gemakkelijk op te lossen, waarbij dan wel de voorwaarde geldt dat de vergelijkingen lineair zijn. Zij mogen dus geen coëfficiënten bevatten die van de tijd of van de amplitude van één of meer variabelen afhangen.

Gaat het niet om een periodiek verschijnsel, of willen we ook niet-lineaire effecten meenemen, dan kunnen we het stelsel differentiaalvergelijkingen schrijven als functie van de tijd en op de computer oplossen met behulp van een numerieke integratiemethode. Als voorbeeld van zo'n niet-lineaire simulatie, met de tijd als onafhankelijke variabele, kijken we naar de optrekprestatie van een auto. We willen dan bijvoorbeeld weten in hoeveel seconden een

auto kan optrekken van 0 tot 100 km/h. Belangrijke grootheden zijn daarbij onder meer het beschikbare motorkoppel, de massa van het voertuig, de versnelings- en eindreductie-overbrengingen, het rendement van de aandrijving en alle weerstandskrachten die op het voertuig werken. Het fysische model kunnen we nu schrijven in een formule met de vorm:

$$A \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + CX = D \quad (1)$$

X is hierin de vector met alle variabelen (hoekverdraaiingen en voertuigverplaatsing) en de coëfficiënten A t/m D kunnen afhankelijk zijn van X of van de tijd. Een computerprogramma is nu een onmisbaar hulpmiddel om dit stelsel met behulp van numerieke integratie op te lossen. Heel geschikt is daarvoor de zogenaamde 'methode van Runge Kutta', welke op redelijk stabiele wijze een stelsel differentiaalvergelijkingen van de eerstse orde kan integreren. Wanneer we overgaan op een vector van variabelen Y, dan is stelsel (1) te schrijven als volgt:

$$\frac{dY}{dt} = PY + Q \quad (2)$$

Omdat we nu zijn overgegaan van de tweede naar de eerste orde is stelsel (2) wel met 'Runge Kutta' oplosbaar, maar bevat tweemaal zoveel vergelijkingen als

project wordt voortgezet. In de daarop volgende realisatiefase wordt het project volledig ontrafeld: de auto, de produktielijn en alles wat daarmee samenhangt.

De ontwerpers specificeren nu de onderdelen en beschrijven in welke volgorde en met behulp van welke middelen ze moeten worden gemonteerd. Voor veel onderdelen moet men 'zelf maken of inkopen' afwegen. De inkopers en leveranciers raken nu intensief bij het ontwikkelingswerk betrokken. Technici beginnen met het ontwerpen en vervolgens bestellen of maken van de benodigde, vaak zeer specifieke machines en gereedschappen.

In de loop van de realisatiefase komen van steeds meer componenten prototypen gereed die nagenoeg hun uiteindelijke vorm hebben bereikt. De beproevingssafdeling werkt nu op volle toeren, want alle onderdelen worden door en door getest alvorens ze akkoord worden bevonden. Vervolgens maken de prototyp-

pebouwers alle componenten tot één geheel, want om de resultaten van simulaties aan de werkelijkheid te toetsen zijn metingen aan het complete voertuig nodig. Deze 'proto-auto's' ondergaan in laboratoria, op testbanen en soms ook op de gewone weg diepgaande testprogramma's.

Een vast onderdeel van de testen zijn de zomerritten in tropische woestijngebieden en de winterritten in de ijzige vrieskou van het hoge noorden. De serie-auto's van straks moeten tegen extreme omstandigheden zijn opgewassen. Elke standaardauto moet gewoon kunnen blijven functioneren, of het nu buiten  $40^{\circ}\text{C}$  vriest of  $45^{\circ}\text{C}$  boven nul is.

Uiteraard treedt tijdens het realisatieproces nog een aantal onvolkomenheden aan het licht. Er vindt dan ook doorlopend terugkopeling plaats naar de ontwikkelingsafdelingen die al eerder bij het project betrokken waren. Wanneer er afwijkingen blijken tussen meting

## INTERMEZZO II

stelsel (1). Voor de computer is dat echter nauwelijks een bezwaar.

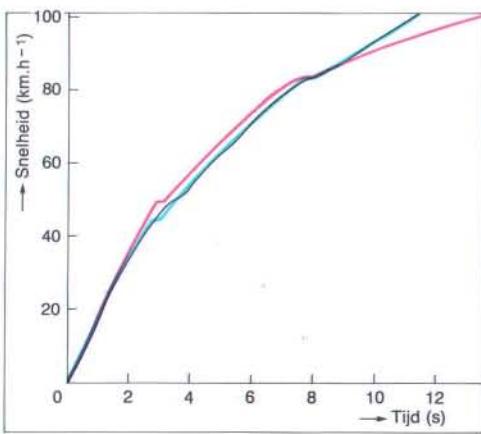
Met behulp van het computerprogramma kunnen we tevens de benodigde invoer verzorgen, zoals de diverse parameters die eigenschappen van het voertuig beschrijven (massa's, traagheidsmomenten, reducties, rolweerstands-coëfficiënten enzovoort) en de invoer ten behoeve van het model (motorkoppel

als functie van tijd en toerental), alsmede de gewenste uitvoer waarbij we kunnen aangeven welke variabelen we in welke vorm gepresenteerd willen hebben. Invloeden hiervan op acceleratie en topsnelheid kunnen op deze wijze snel worden geanalyseerd.

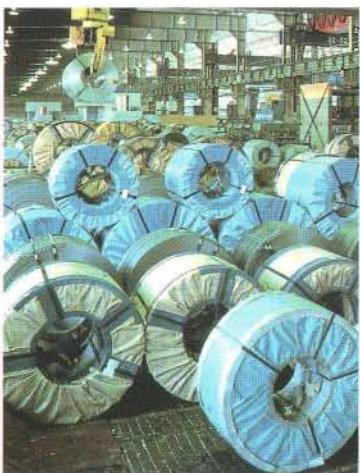
### Ir J. Scheur

II-1. De rode en de blauwe lijn in de grafiek zijn de resultaten van een programma, dat de optrekprestatie van twee voertuigvarianten heeft gesimuleerd. De gesimuleerde auto's waren met verschillende ver-

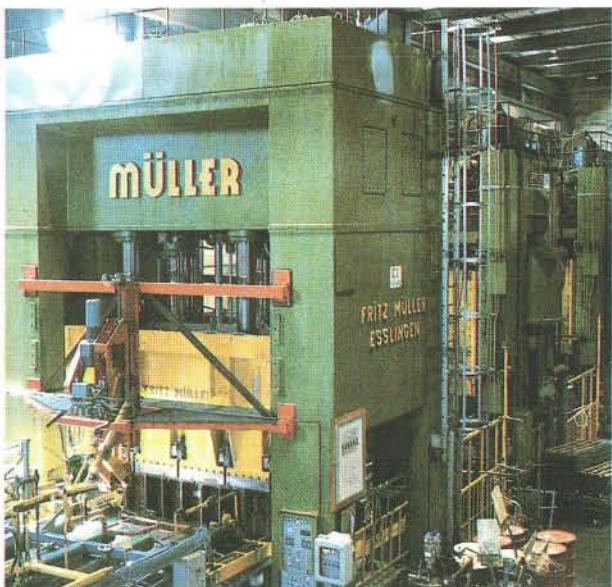
snellings- en eindreductieoverbrengingen uitgevoerd. De dunne zwarte lijn geeft de in werkelijkheid gemeten optrekcurve van de auto, waarvan de blauwe lijn de berekening weergeeft.



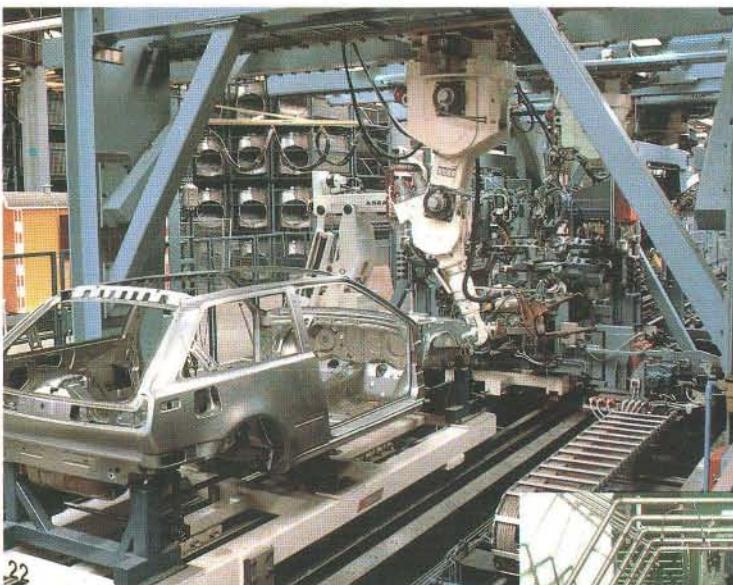
II-1



10



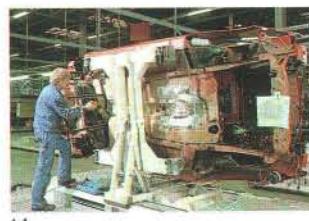
11



12



13



14



15

10, 11, 12, 13, 14 en 15. In de verwerking van rollen plaatstaal tot een fonkelnieuw vehikel zijn vier hoofdfasen te onderscheiden: persen, carrosseriebouw, lakken en monteren. Robots nemen een groot deel van de productie voor hun rekening,

maar voor ingewikkelde en precieze handelingen en de controle van de kwaliteit blijven mensen verantwoordelijk. Als de auto helemaal klaar is ondergaat zijn nog een fikse stortbul. Alleen een volkomen waterdicht voertuig mag op weg naar de klant.

## Computerondersteunde tolerantiestudies

Bij processen die in de mechanische industrie gebruikelijk zijn, zijn de afwijkingen van de gemiddelde waarde  $x$  van een maat normaal verdeeld. Deze afwijking wordt met het symbool  $\sigma$  (sigma) weergegeven en heet de 'standaardafwijking' van het proces. In het gebied  $x \pm 3\sigma$  bevindt zich 99,7% van de afwijkingen. Het is nu zaak de produktieprocessen zodanig in te richten dat de  $\sigma$  van het proces één vierde van de toegestane positieve en negatieve afwijking is. De voortgebrachte produkten bevinden zich dan met voldoende statistische zekerheid binnen de vereiste afwijkingsgrenzen.

Bij het samenstellen van twee of meer produkten hangt de samenstellingstolerantie af van de tolerances van de onderdelen die in de samenstelling opgenomen zijn. Om de onderlinge relatie tussen tolerances van samenstellingen en de diverse onderdelen duidelijk te krijgen, kan men gebruik maken van to-

lerantiestudies. Deze studies zijn gebaseerd op formules die gelden voor normaal verdeelde processen en op het gegeven dat de toegepaste fabricageprocessen een normale verdeling vertonen.

Bij het samenstellen van twee onderdelen tot een samenstelling is de tolerantie van de samenstelling een functie van de onderdeeltolerantie ( $P_i$ ):

$$\Delta S = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$$

De samenstellingstolerantie kan worden uitgerekend met behulp van de formule

$$\Delta S = \sqrt{(P_1)^2 + (P_2)^2 + \dots + (P_n)^2}$$

(volgens Volvo Car-norm).

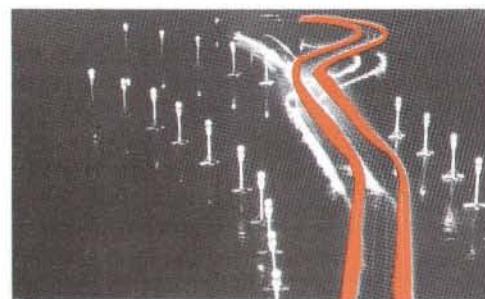
Een voorbeeld kan dit verduidelijken. Voor twee produkten gelden de volgende toleranties:  
produkt A:  $50 \pm 1,5$  mm en  
produkt B:  $75 \pm 2,0$  mm.

en berekening kan dat aanleiding geven om met behulp van nader onderzoek te komen tot een nauwkeuriger fysisch model.

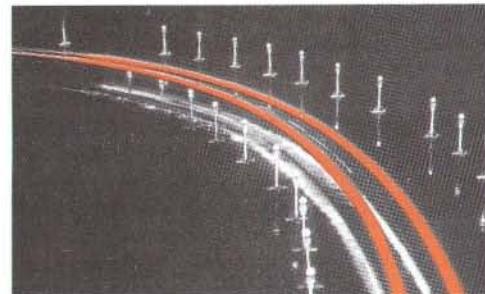
Alle test-, meet- en prototyperesultaten worden dan ook zorgvuldig geanalyseerd en geëvalueerd, alvorens de productie definitief van start kan gaan. Ook voor toekomstige nieuwe ontwerpen is veel te leren van eerder gemaakte fouten en van de ervaringen van voorgangers. Om die expertise zo efficiënt mogelijk door te geven is het verstandig gebruik te maken van computerondersteunde beheersystemen, die de informatie doeltreffend moeten opslaan en verwerken.

### Voorbereidingen in de fabriek

De feitelijke produktiestart van een nieuw autotype is een zeer geleidelijk proces. Het produktieproces kan in vier fasen worden gesplitst. Op de *persafdeling* krijgen de carrosserieën hun vorm, waarna robots en ervaren lassers in de *bodyshop* de delen samenvoegen tot een complete carrosserie. De bodies verhuisen vervolgens naar de *lakstraat*, waar ze hun oppervlaktebehandelingen ondergaan. In de *eindmontage* vindt de opbouw van de bodies tot complete auto's plaats. Een nieuwe serie vergt soms een uitbreiding, of een geheel nieuwe opzet van de produktielijn.



16



17

16 en 17. Niet alleen om, maar ook in de auto speelt de computer een steeds grotere rol. Het anti-blokkiersysteem (ABS) bijvoorbeeld, voorkomt dat bij krachtig remmen de auto gaat schuiven. Een

computer registreert daarbij continu de draaisnelheid van de wielen en heeft eventueel voor korte tijd de remwerkking op, waardoor de wielen altijd blijven draaien en optimaal kunnen remmen mogelijk is.

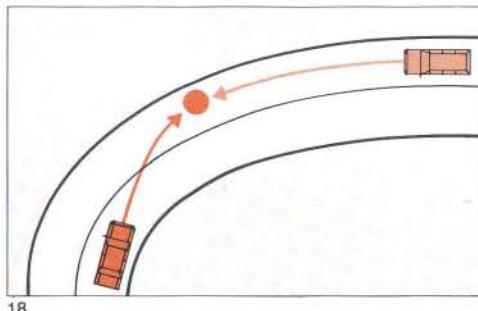
## INTERMEZZO III

Voor de samenstelling S geldt dan:

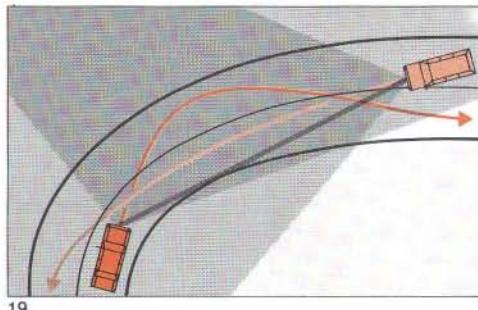
$$125 \pm \sqrt{(1,5)^2 + (2,0)^2} = 125 \pm 2,5 \text{ mm.}$$

De hierboven geschatte rekenmethode kan ook worden gebruikt voor complexe samenstellingen, terwijl tevens samenstellingstolerances kunnen worden berekend met behulp van goniometrische bewerkingen in drie dimensies. Maar ook in dat geval wordt de enorme complexiteit van de samenstellingen in automobielen nog altijd sterk vereenvoudigd weergegeven. Tot voor kort vonden alle tolerantiestudies handmatig plaats. Om realistischer berekeningen te kunnen verrichten zijn er tegenwoordig softwarepakketten beschikbaar die fabricagesituaties simuleren.

R. Hofman



18



19

18 en 19. In het Europese ontwikkelingsproject Prometheus werken tal van automobielfabrikanten samen aan de integratie van de computer in de auto. Nu zou de auto links op afb. 18, door een te hoge

snelheid de bocht te ruim nemen en in botsing komen met de rechter auto. In de toekomst signaleren boordcomputers op tijd het dreigende gevaar en voeren een ontwijkmanoeuvre uit.

Robotisering en automatisering zijn daarbij de trefwoorden. In het geval van de Volvo 400-serie is de capaciteitsuitbreiding in de persafdeling te danken aan zogenaamde pick and place robots tussen de personen; deze robots zorgen voor een aanzienlijke verkorting van de omsteltijden. Verder is er een nieuwe, voor meer dan 80% gerobotiseerde bodyshop en een afzonderlijke eindassemblage-afdeling. Voor de lopende band is een systeem van computergestuurde plateauwagens in de plaats gekomen, waarop monteurs de auto in elkaar zetten tijdens een reis door de fabriek.

### Op weg

Om een nieuw model auto in al zijn variaties over het voetlicht te brengen, is een vrachtwagenlading documentatiemateriaal nodig. Brochures, handleidingen, verkooprichtlijnen, werkplaatshandleidingen, onderdelencatalogi, foto's en technische tekeningen, het is slechts een greep uit de papierwinkel die een nieuw automodel met zich meebrengt. Vanaf de eerste dag dat de auto leverbaar is, moeten ook onderdelen via de dealers verkrijgbaar zijn.

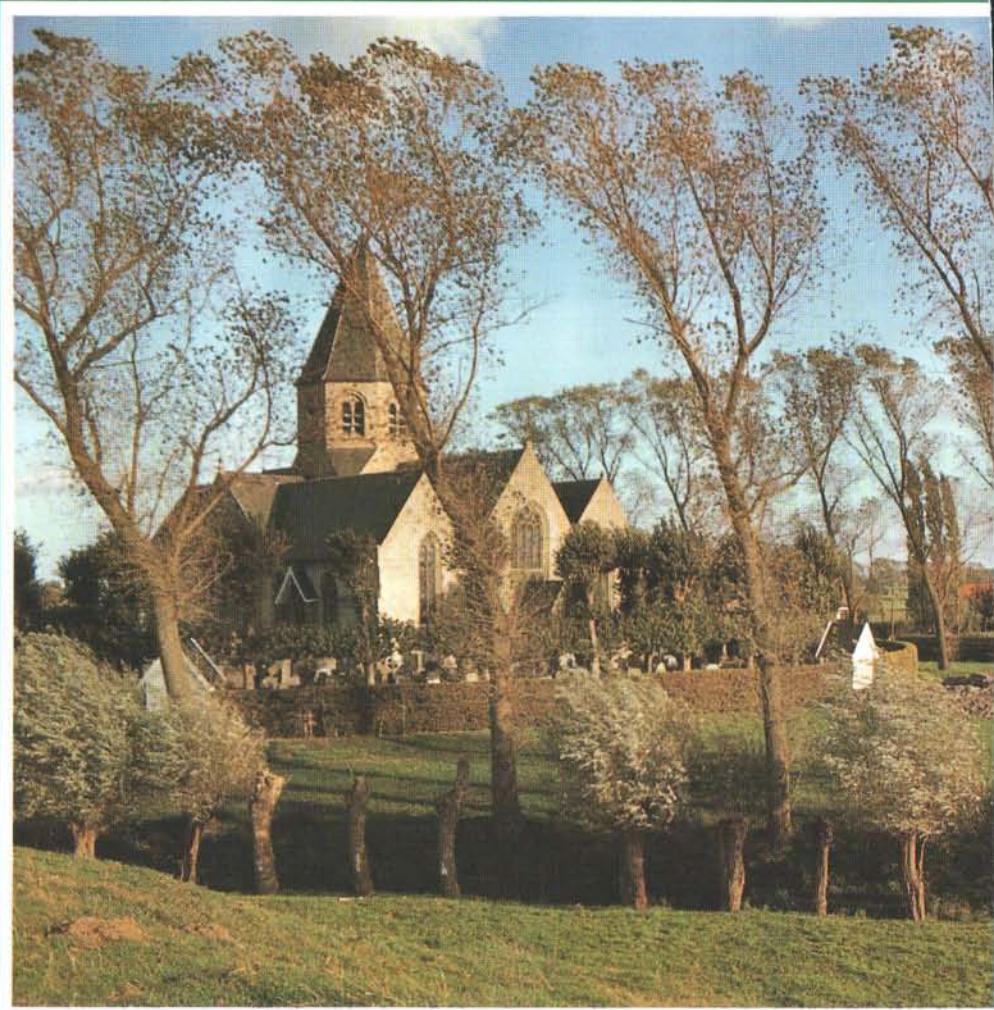
Rond het tijdstip dat de productie op volle toeren van start kan, vinden de introductieactiviteiten plaats. Importeurs, dealers en autojournalisten maken proefritten in de eerste produktie-auto's. De publiciteitsgolf die dit veroorzaakt, lokt potentiële klanten naar de dealers, die onmiddellijk aanvullende informatie kunnen geven, auto's voor proefritten beschikbaar stellen en de eerste orders noteren.

Langzaam maar zeker verschijnt de nieuwe auto in het straatbeeld. In het begin vaak nog belangstellend bekeken door verraste voorbijgangers, maar al spoedig is de nieuwkomer een vertrouwde verschijning op de weg.

### Bronvermelding illustraties

Adam Opel AG, Rüsselsheim, BRD: 10  
Saab-Scania, Trollhättan, S: 11

R. Bosch GmbH, Stuttgart, BRD: 16 en 17  
De overige illustraties zijn afkomstig van Volvo Car BV, Helmond.



In de Middeleeuwen bouwde men op al dan niet aangelegde heuvels versterkingen, de zogenaamde motten. Her en der zijn de restanten daarvan nog in het landschap zichtbaar, zoals hier in het Westvlaamse Werken. De kerk staat op wat vroeger het voorhof van de motte was.

AARDHOPEN  
VOOR DE ADEL

# Motte kastelen



De laatste jaren wordt in West-Europa meer en meer aandacht besteed aan het onderzoek van een karakteristiek middeleeuws monument: de castrale motte of mottekasteel. Deze kunstmatige aarden versterkingsheuvel werd in het verleden vaak beschouwd als prehistorische of Romeinse grafheuvel of als middeleeuwse molenheuvel. Men besefte niet dat het om echte kastelen gaat met de daaraan gekoppelde militaire, residentiële, economische en symbolische betekenis. Het is echter duidelijk dat de overgrote meerderheid van de adel in de periode van de 11de tot de 13de eeuw gebruik maakte van deze vorm van versterking.

J. De Meulemeester  
Nationale Dienst voor Opgravingen  
Brussel

"Bij de kerk stond een hoge versterking, die naar de mode van de streek was gebouwd. Immers, in die streek is het de gewoonte van de rijkste en adelijkste mannen om een ophoging van aarde te maken en dit zo hoog als ze maar kunnen en er een zo diep mogelijke brede gracht rond te graven. Ze omringen de ophoging met een palissade van planken, die op een zeer solide manier zijn samengevoegd. Zo maken ze een omheining, die zoveel mogelijk met torens wordt geflankeerd. Binnen deze omheining bouwen ze een versterkt gebouw, dat het geheel beheert. Men kan er alleen binnen langs een brug, die vertrekt van de overzijde van de gracht en tot aan de top van de ophoging reikt en op die hoogte de toegang in de palissade bereikt."

Zo beschrijft Walter van Terwaan rond 1130 de motte in de dorpskern van Merkem in West-Vlaanderen. De auteur stelt dat het in die tijd mode was om een motte te bouwen. Uit archeologisch onderzoek blijkt dat dit kasteeltypie van de 11de tot de 13de eeuw inderdaad algemeen voorkwam in West-Europa.

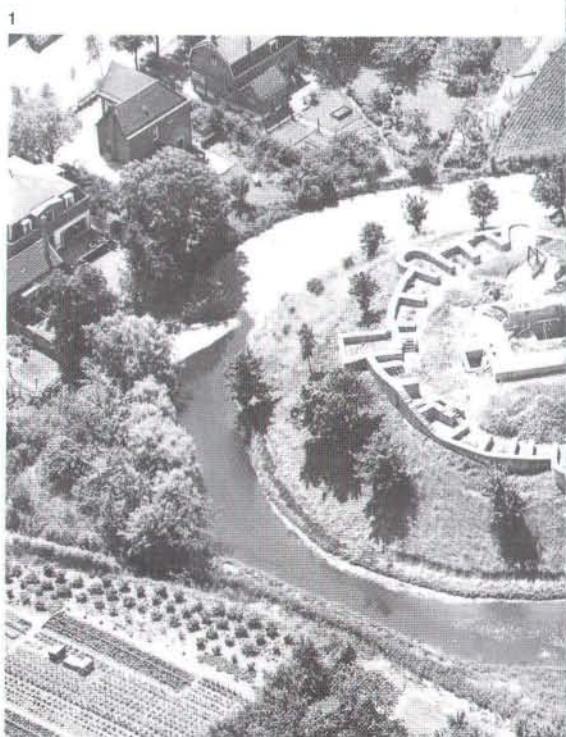
Het mottekasteel bestond uit twee essentiële delen, ten eerste het *opperhof* of de hoofdburcht en ten tweede het *neerhof* of de voorburcht. Het opperhof werd gevormd door een aarden heuvel – de eigenlijke motte – in de vorm van een afgeknotte kegel, met daaromheen een gracht. Mottes waren rond of licht ovaal met een diameter tussen de 20 en 100 m en een hoogte tussen 3 en 20 m. De mottehelting zelf was meestal zeer steil en begroeid met doornstruiken en -hagen. Om het plateau op de top van de motte liep een palissade van boomstammen, soms zelfs een stenen muur. Binnen deze omheining bevonden zich een houten of stenen toren en eventueel een aantal houten bijgebouwen.

Het opperhof had een militaire functie en diende pas in de tweede plaats als residentie. Op het eerst speelde zich het dagelijks leven van de gemeenschap af. Meestal sloot het eerst min of meer hoefijzervormig op de eigenlijke motte aan, er van gescheiden door de mottegracht. Het eerst was zelf veelal ook opgehoogd, omgracht en voorzien van een wal en/of palissade. Binnen deze gesloten ruimte aan de voet van de motte bevonden zich de bedrijfsgebouwen, stallen, schuren, voorraadkamers, ambachtelijke gebouwen en de verblijfplaatsen van de ondergeschikten. Soms waren

daar ook de eigenlijke woonplaats en de kapel van de heer en zijn familie. De economische functie van het eerst is ook heden ten dage nog zichtbaar: op tientallen plaatsen staat op het oude eerst nog steeds een hoeve. In andere gevallen staat de parochiekerk, ontstaan uit de oorspronkelijke castrale kapel, op het nog bestaande eerst.

#### De bronnen voor het onderzoek

Onze historische kennis van deze monumenten is beperkt. Op een paar beschrijvingen na, zoals die van Walter van Terwaan, vinden we in de middeleeuwse teksten weinig bruikbare vermeldingen van mottekastelen. Afbeeldingen ervan vinden we pas vanaf de 16de eeuw. De grote uitzondering vormt het tapijt van Bayeux. Dit borduurwerk werd vervaardigd in de decennia na de verovering van Engeland in 1066 door Willem de Veroveraar, hertog van Normandië. Als een stripverhaal vertelt het wandtapijt het voorspel tot de verovering en de eerste confrontatie met de Engelsen in de Slag bij Hastings. Het wandtapijt toont ons



verschillende mottekastelen, waaronder dat van Hastings, aangelegd bij de landing van de Normandische troepen in Engeland. Op de afbeeldingen verschillen de mottes wel in details, maar de basisconstructie bleek toch overal dezelfde. Het borduurwerk toont ons bij de motte van Hastings zelfs de verschillende aardlagen, waaruit de heuvel is opgebouwd. Dit stemt overeen met het beeld dat we hebben uit archeologische opgravingen. Die tonen aan dat er inderdaad verschillende aardlagen in de motteopbouw kunnen worden onderscheiden.

Opgravingen zijn onontbeerlijk voor het verwerven van kennis over deze mottekastelen. Immers, zij vormen meestal de enige bron van informatie, omdat ander historisch materiaal ontbreekt. De ontstaansgeschiedenis, de evolutie, de indeling en ontwikkeling van het gebouwenbestand, maar ook de lokatiekeuze, de verspreiding en de ruimtelijke relaties moeten daarom langs archeologische weg worden ontrafeld. Hieronder zal aan de hand van Nederlandse en vooral Belgische voorbeelden gepoogd worden het fenomeen mottekasteel te verduidelijken.

### Opkomst en ondergang van het mottekasteel

In het begin van de Middeleeuwen schijnt het bouwen van vestingen in het vergeetboek te zijn geraakt. Men vertrouwde op de bestaande verdedigingswerken uit de Laat-Romeinse tijd. Vaak waren deze nog in goede staat.

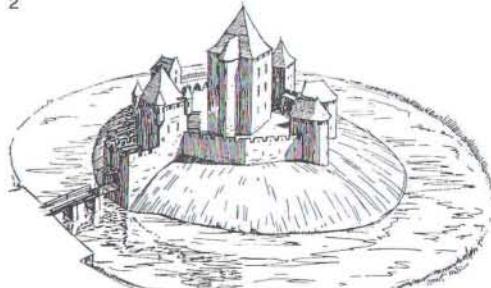
In zijn *Geschiedenis van de Franken* vertelt Gregorius van Tours hoe de Romeinse stadsmuur van Doornik in 575 nog sterk genoeg was om aanvallers buiten te houden. In 880 was hij evenwel zodanig vervallen dat de Noormannen gemakkelijk naar binnen konden wandelen. De bisschop van Doornik kreeg dan ook in 898 toestemming van de Duitse keizer om de vestingwerken te herstellen.

Dit voorbeeld staat niet alleen; het typeert de evolutie, waarbij niet alleen koningen of keizers tot de bouw van strategische burchten overgingen, maar ook lokale autoriteiten zichzelf en hun onderdanen met verdedigingswerken begonnen te beveiligen, onder meer tegen de invallen van de Noormannen.

Vanaf de negende eeuw verschenen dan ook in de Lage Landen verschillende vluchtburch-



2



1 en 2. Een voorbeeld van een mottekasteel is de burcht van het Zuidhollandse Oostvoorne. Op de luchtfoto is duidelijk te zien dat de motte hoger ligt dan het omringende landschap en omgeven is

door een gracht. Bovenop de motte zien we de restanten van gebouwen. Op basis van het archeologische onderzoek is de reconstructie gemaakt van hoe het geheel er uit gezien moet hebben (2).

3. De versterkingen waren veelal uit hout opgetrokken. Om de motten te veroveren, trachten belegeraars die in brand te steken. Een dergelijk tafereel is afgebeeld op het tapijt van Bayeux en heeft betrekking op de motte van Dinan (Bretagne).

4. Van het mottekasteel van Brustem (Belgisch Limburg) staat nog een twaalfde eeuwse toren. Op het voormalige voorhof is de kerk gebouwd.



3



4



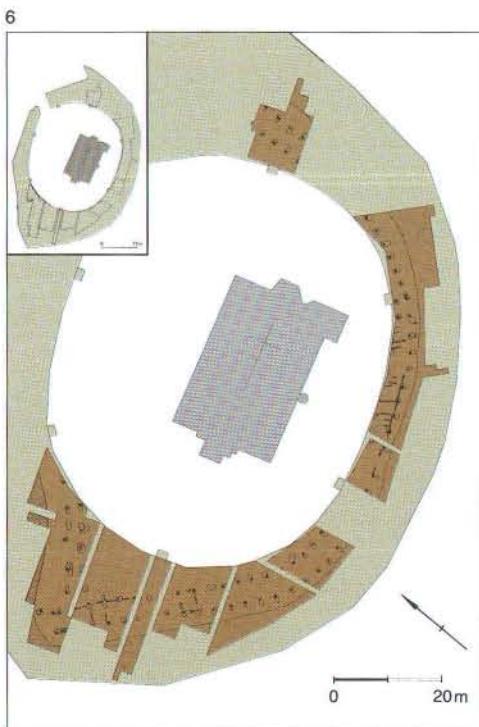
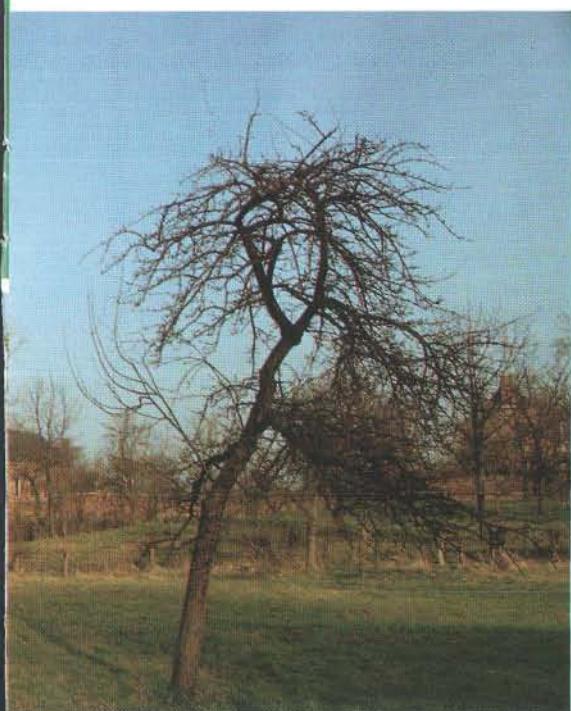
5

5. Een doorsnede door het opperhof van de motte van Werken. Te zien zijn: de Vroegmiddeleeuwse bodem (1), de kernmotte (2)

met haar loopvlak en de greppel waarin de palissade gezet is (3), de tweede heuvel (4) met verdedigingsgracht (5) en de paal-

kuil voor de tweede palissade (6) en tenslotte een derde ophoping (7).

6. Plattegrond van de motte van Werken. Onder andere is aangegeven waar archeologen delen van de houten palissade vonden.



ten, waaronder die van het Vlaamse en Zeeuwse kustgebied de bekendste zijn. Deze burchten kenmerkten zich door hun relatief grote oppervlakte, waarbinnen de lokale bevolking zich met have en goed kon terugtrekken.

De invallen van de Noormannen hadden echter ook meer fundamentele gevolgen. De voortdurende onzekerheid maakte dat regionale machthebbers zich onafhankelijker gingen opstellen tegenover koning of keizer. Daarbij greep de feodalisering om zich heen: een ondergeschikte partij, die men anders toch moeilijk de baas kon, werd aan de heer gebonden met een eed van trouw, die allerlei rechten en plichten met zich meebracht. Beoogden de versterkingen voorheen eerder een collectief doel, de bescherming van de bevolking, zo leidde de feodalisering tot de oprichting van de eerste echte kastelen, waarbij eerder het belang van de landheer voorop stond. Deze hadden een defensief en een offensief doel. In defensief opzicht was er de bekommernis van de edelman om zichzelf, zijn familie en zijn woning te beschermen. Het offensieve karakter van het kasteel lag in het machtsvertoon naar onderdanen en mogelijke vijanden. Het kasteel werd daardoor de uitdrukking van sociale en politieke veranderingen.

### Oorsprong

De castrale motte of mottekasteel ontstond ergens rond het jaar 1000 in de landstreken tussen Rijn en Loire. Waar en wanneer de eerste motteconstructie werd aangelegd, is vooralsnog onbekend. Zeker is wel dat deze bouwwijze in de loop van de 11de en 12de eeuw Europa veroverde. In de 13de eeuw treft men ze aan van de Atlantische kust tot in Polen en van Denemarken tot in Italië. In Engeland en Wales, waar circa 700 mottes bekend zijn, kwamen ze na de verovering in 1066 algemeen voor. Het succes ervan is gemakkelijk te verklaren. De benodigde werken konden relatief gemakkelijk worden uitgevoerd door niet-gekwalificeerde arbeiders, de bouw kon snel worden gerealiseerd, terwijl de kostprijs laag was, zodat zelfs de lagere adel zich de aanleg ervan kon veroorloven. Bovendien waren ze in militair opzicht efficiënt: ze boden voldoende veiligheid en lichelijke bescherming. Eenmaal aangelegd was de heuvel vrijwel onverwoestbaar.

Reeds in de 12de en 13de eeuw werden bepaalde motten, meer specifiek het opperhof, verlaten. Bij sommige ging het om 'herbouw', zonder dat de heuvel zelf verdween; op andere plaatsen werd zij verwoest en nooit opnieuw opgebouwd. In het Gentse Gravensteen bijvoorbeeld verdween de motteheuvel door een terreinophoging binnen de schildmuur van 1180; de motte bleef er als het ware ondergronds bestaan.

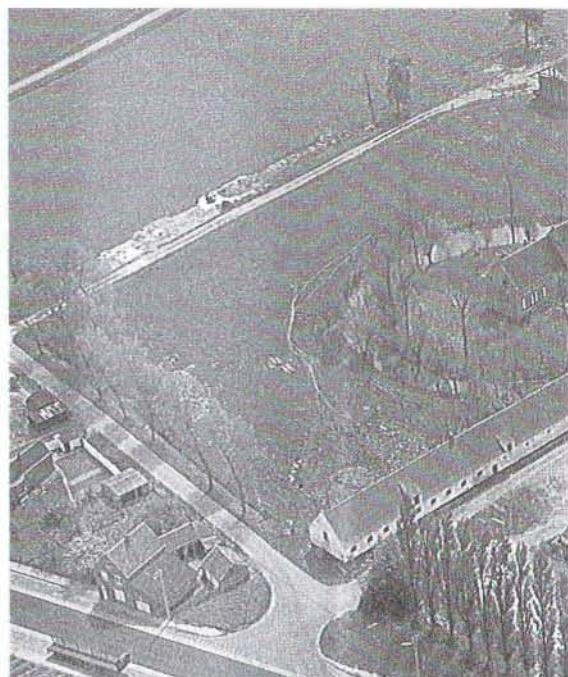
Omdat in die eeuwen motten werden verlaten, terwijl er nog steeds nieuwe gebouwd werden, bestaat de indruk dat de hoge adel de mottekastelen verliet of aanpaste aan zijn behoeften, terwijl de lagere adel, volgens de traditie, en misschien bij gebrek aan andere middelen, nog nieuwe liet bouwen. Militaire verdedigingswerken kunnen dit echter niet meer geweest zijn. Door veranderende oorlogstechnieken en het gebruik van vuurwapens verloor de motte vanaf de 13de eeuw haar strategische betekenis. Het mottekasteel kreeg daardoor meer een symbolische dan een militaire waarde.

#### De lokatie van motteburchten

De oudste mottes in Vlaanderen stammen uit het midden van de 11de eeuw. In Nederland komen ze pas een eeuw later in zwang, in eerste instantie vooral in de regio Limburg/Gelderland en in Zeeland, maar ook de Utrechtse bisschoppen lieten in de 12de eeuw enkele mottekastelen bouwen. In Holland kwamen ze waarschijnlijk niet vóór de 13de eeuw voor; de burcht van Leiden vormt hierop een uitzondering.

De aanwezigheid van slechts enkele mottes in het noorden van Nederland moet misschien gezien worden tegen de achtergrond van het ontbreken van een echte feodalisering, zeker in Friesland. Ook Noord- en Midden-Brabant kenden slechts weinig mottekastelen. In Vlaanderen vinden we, zoals in afbeelding 9 te zien is, de meeste castrale mottes in het eigenlijke graafschap Vlaanderen en in het Haspengouwse deel van Limburg, streken met rijke landbouwgronden. Beide zones sluiten aan op de Zeeuwse en Limburg/Gelderse regio's in Nederland.

Als we naar de lokaties kijken, dan valt op dat de motteversterkingen van het laagland meestal in beekvalleien liggen of op drassige en



7

waterrijke terreinen. Het is duidelijk dat militaire overwegingen de keuze van de strategische plaats hebben bepaald en dat de mogelijkheid om waterrijke grachten aan te leggen de doorslag gaf. Toch werden mottes ook aangelegd op hoger gelegen terreinen, die de omgeving domineren. Alpertus van Metz (11de eeuw) beschrijft dat in drassig terrein langs de Maas een kleine, moeilijk toegankelijke, natuurlijke verhevenheid lag, die werd uitgekozen om er een aarden versterking op aan te leggen. Soms werd de motte aangelegd bovenop een oudere versterking. Dit gebeurde vooral in opkomende steden, zoals Gent en Veurne. Immers, vanaf de negende eeuw ontstonden onder meer aan de voet van de eerder genoemde vluchtburchten pre-stedelijke en stedelijke kerken. De regionale adel paste zich vanaf de 11de eeuw aan de nieuwe mode in de kastelenbouw aan. Zij bouwde de vluchtburchten om tot private versterkingen, die de rol van dwangburcht over de zich ontwikkelende stad gingen spelen.

Sommige motteheuvels ondergingen in de loop van hun geschiedenis belangrijke wijzigingen, waarin we grosso modo twee typen



8

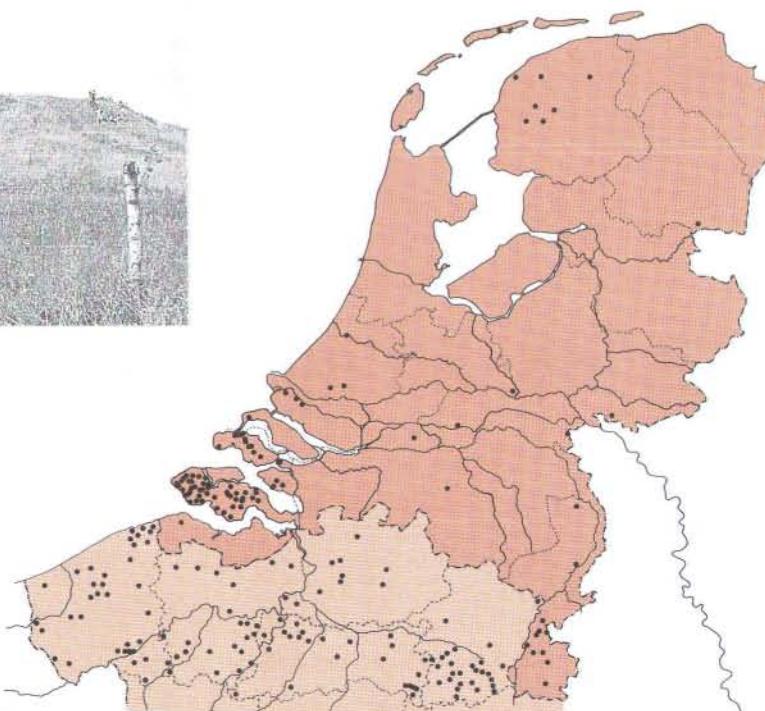


kunnen onderscheiden: de motte werd verhoogd of juist afgetopt. Wanneer een motte werd verhoogd, gebeurde dit in een aantal gevallen zelfs in meerdere fasen. Bij de motte van Werken (W-VI) werd vastgesteld dat de opbouw ervan in drie hoofdfasen verliep, waarbij de motte respectievelijk 2,50, 4,50 en tenslotte 5,50 meter hoog werd. Ook de 'Berg van Troje' in het Zeeuwse Borssele wordt gekenmerkt door verschillende ophogingsfasen. Wanneer de motte werd afgetopt, werd de grond over de helling verspreid. De verlaagde motte kreeg aldus een groter oppervlak waarop dan een stenen gebouw verrees dat eerder diende als woning dan als militaire versterking.

#### De motte nader bekijken

Hoe werd een motte eigenlijk geconstrueerd? Vele onderzoekers gaan er van uit dat, om van een motte te kunnen spreken, de grond minimaal met drie à vier meter moet zijn opgehoogd.

9



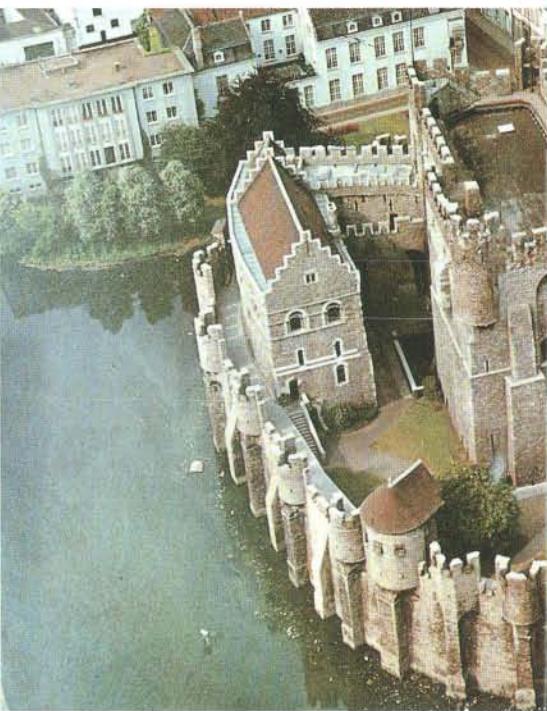
7. Van veel oude mottes is het voorhof nu nog steeds in gebruik. Hier in Dudzele, even noord van Brugge, staat op het voorhof een boerderij. In de Middeleeuwen moet er ook al een hebben gestaan. Op de motte is in de 17de eeuw een woonhuis gebouwd.

8. De Singelbergmotte in Beveren-Waas domineert het polderlandschap in de Scheldebocht bij Antwerpen.

9. De bekende mottes in Nederland en Noord-België.

Hiervoor werd extra grond van elders aangevoerd. Soms echter werden mottes opgeworpen op bestaande natuurlijke verhevenheden. Dit is bijvoorbeeld duidelijk het geval bij de motte van Borgloon (Belgisch Limburg). Deze burcht van de graven van Loon, ligt op het uiteinde van een heuvelrug, die het omliggende landschap domineert. Ook bij de burcht van Oostvoorne (Zuid-Holland), aangelegd in de eerste jaren van de dertiende eeuw, is gebruik gemaakt van een natuurlijke verhevenheid. Onder de motte van Oostvoorne, die tien meter hoog is, ligt een duin van ongeveer zeven meter.

Een aantal mottes blijkt echter volledig kunstmatig opgeworpen te zijn. Uit opgravingen blijkt dat hierbij verschillende methoden werden gebruikt. Een eerste en mogelijk eenvoudigste manier bestond erin een gracht te graven en de grond aan de binnenzijde van de gracht te werpen. Daar ontstond dan een onregelmatige ringvormige wal; de daarbinnen gelegen ruimte werd naderhand opgevuld en het geheel werd tot de gewenste hoogte opgevuld. Elders, bijvoorbeeld in Veurne (W-VI), maak-

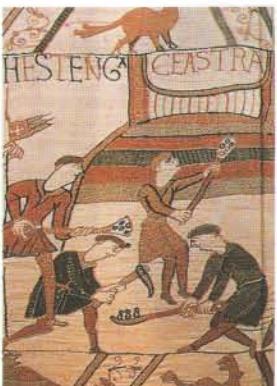


12



10

10. In het West-Vlaamse Veurne hebben archeologen restanten van balken en boomstammen gevonden, die dienden ter versteviging van de mottevoet.



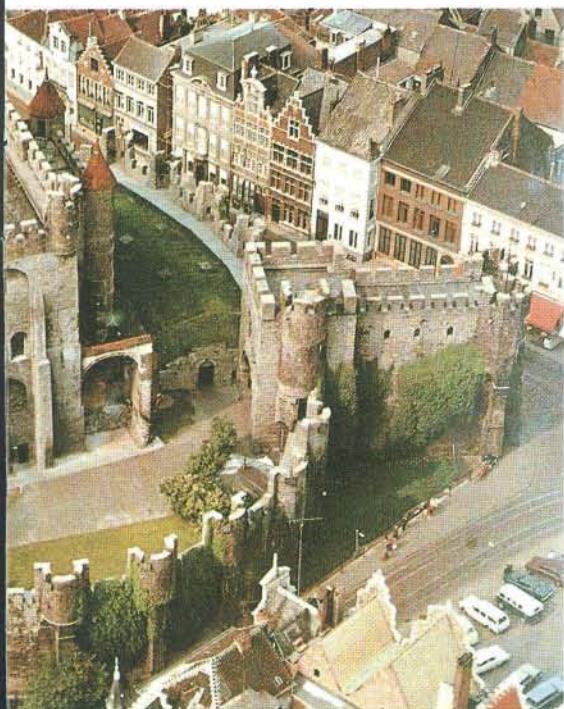
11

11. Op het Tapijt van Bayeux staat deze afbeelding van de aanleg van de motte van Hastings. Arbeiders zijn bezig met het aanbrengen van de motte.

12. Het Gravensteen in Gent is een voorbeeld van een motte waarbij een bestaand gebouw werd ingemot, zodat het voor een deel onder de grond kwam te liggen. Later werd het tot een toren uitgebouwd.

te men gebruik van de bestaande ringwal van een oudere vesting.

In Veurne werd de basis van de heuvel volledig versterkt door het aanbrengen van horizontaal en verticaal geplaatste boomstammen en balken. Het was duidelijk de bedoeling het glijden van de pas aangebrachte zandige grond tegen te gaan. In Gistel (W-VI) moet men inderdaad problemen met afglijdend zand gehad hebben. Blijkbaar was er geen hout en paste men een andere verstevigingstechniek toe. De mottevoet werd afgezet met een 'muur' van kleiplaggen uit het omringende polderland die werd gevoegd met zandlaagjes. In Abbekinderen (Z) stelde de opgraver vast dat men bij de opbouw van de heuvel ook eerst het ringwalsysteem had toegepast. De ongeveer 120 cm hoge wal bestaat uit een opeenstapeling van spadesteken, die vrijwel niet uit elkaar zijn gevallen. De grond werd blijkbaar in de onmiddellijke omgeving gedolven en meteen met de schop op de wal geworpen, zodat de spadesteken niet verbrokken konden. De wal was bovendien, zoals te Gistel, op verschillende plaatsen verstevigd met dikke kleiplaggen.



In tweede instantie werd het binnenterrein opgehoogd.

In enkele gevallen construeerde men eerst een toren en werd pas daarna de grond aangevoerd en de motte aangeaard, zodat de benedenverdieping van de toren ondergronds kwam te staan. Een mooi voorbeeld hiervan vindt men in Diest (Br). In het Gravensteen te Gent vinden we een variant van deze bouwwijze: een bestaand gebouw werd ingemot en tot toren omgebouwd.

De motte werd niet altijd bekroond met een centrale toren; soms bouwde men op de rand van het motteplateau een stenen ringmuur, waartegen houten en/of stenen gebouwen verrezen. Een schitterend voorbeeld van een dergelijke motte, ook *shell-keep* genaamd, is de burcht van Leiden, aangelegd in de tweede helft van de 12de eeuw.

#### De constructiemiddelen

De historische zowel als de archeologische bronnen zeggen maar weinig over de bij de constructie van de heuvels gebruikte gereed-

schappen en technieken. In enkele uitzonderlijke gevallen, zoals te Abbekinderen, weten we dat de grondklompen op een schop werden aangevoerd. Het gaat daarbij echter om de aanleg van een lage ringwal. We mogen gerust veronderstellen dat bij het aanaarden van de hogere delen de grond in draagmanden werd aangevoerd, terwijl vermoedelijk ossekarren gebruikt werden bij de aanleg van lager gelegen delen. Wat betreft de constructie van de motte van Hastings toont het tapijt van Bayeux ons alleen dat de grond werd losgemaakt met houweel en schop. De aanaarding gebeurde rechtstreeks met de schop. Deze was uit hout vervaardigd, waarbij enkel de rand van het blad met een ijzeren band werd versterkt.

Hierboven werd al vermeld dat de aanleg van een motte ook voor de lagere adel te betalen was. Aarde en hout vormden de belangrijkste bouwmateriaal. Grond kon men ter plaatse delven en hoepte dus niet apart aangekocht te worden. Hout moest soms wel worden aangevoerd, wat extra kosten met zich meebracht. Hout bood het voordeel van een snelle verwerking. Een opmerkelijk verhaal uit Frans-Vlaanderen maakt duidelijk dat prefabricage toen al gangbaar was. De burggraaf van Broekburg liet op de motte van Ouderwijk (Audruicq, niet ver van Calais) in één nacht een houten toren in elkaar zetten, waarvan de onderdelen door zijn timmerlieden vooraf waren klaar gemaakt. Hout was veel goedkoper dan stenen, die doorgaans alleen door de hogere adel konden worden betaald.

Voor de constructie van een mottekasteel kon men volstaan met een groot aantal ongeschoold grondwerkers en enkele gekwalificeerde timmerlieden. Alpertus van Metz vertelt dat bij de bouw van een burcht een beroep werd gedaan op de boeren uit de wijde omtrek. De adel kon immers profiteren van de *balfart*. Dit recht stond hen toe hun onderdanen te verplichten om gratis te helpen bij de bouw en het onderhoud van de versterking van hun heer. De werkelijke kostprijs van de aanleg van een mottekasteel is echter moeilijk te berekenen.

Hetzelfde geldt voor de duur van de bouwwerkzaamheden. Uit verschillende middelouwse bronnen blijkt wel dat de constructie ervan nogal snel verliep, zeker wat de gebouwen betreft, maar verdere inlichtingen ontbreken. Hoeveel tijd en mankracht nodig was, kunnen we echter nagaan aan de hand van ge-



13

13. Bij opgravingen op de motte van Gistel (West-Vlaanderen) is deze kleiplaggenmuur gevonden.

Deze diende om alkavering van het opgeworpen zand tegen te gaan.



14

14. Op basis van de opgravingen hebben archeologen een reconstructie gemaakt van de manier

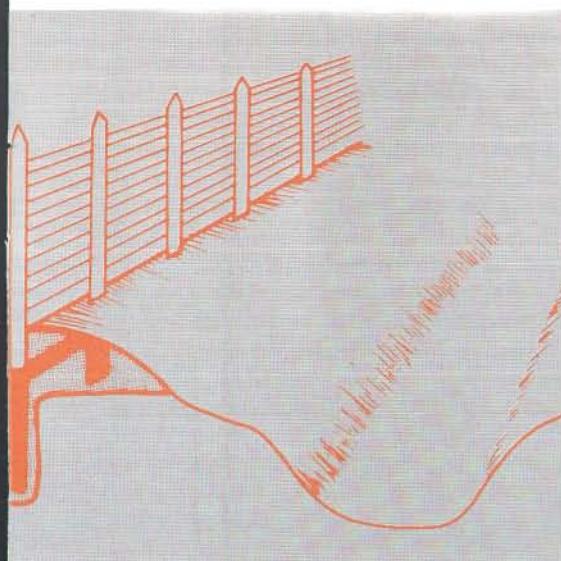
gevens van diverse Europese legers uit het einde van de 19de eeuw, toen de aangewende middelen en werkwijzen nog te vergelijken waren met die uit de Middeleeuwen. Enkele handleidingen voor Franse officieren leren ons dat verwacht werd dat twee soldaten (één met een houweel, één met een schop) in grond met gemiddelde hardheid in acht uur ongeveer 4,5 m<sup>3</sup> aarde afgraven. Zo heeft men berekend dat een motte met een diameter van 30 m en een hoogte van 12 tot 15 m (2200 tot 2800 m<sup>3</sup>), omgeven door een gracht van vier meter breed en drie meter diep kon worden opgeworpen in twintig dagen door een honderdtal werklieden, die acht uur per dag aan de slag waren.

Dezelfde bron geeft ons ook een idee van de aanleg van een palissade, bestaande uit 10 tot 15 cm dikke, bovenaan aangepunte palen met een lengte van 2,50 m, die 0,80 tot 1 m diep de grond worden ingeplant. Vier man maakten per dag ongeveer 30 palen; vier anderen plaatsten 10 tot 12 m palissade per dag. Het moet dus acht tot tien dagen hebben vergd om een gemiddeld motteplateau met een houten palissade te omgeven.

### Hoofdburcht en neerhof

De verdediging van een motte was doeltreffender dan men op het eerste gezicht zou verwachten. De met doornstruiken begroeide steile mottehelling was voor een gewapende krijger vrijwel onbeklimbaar, zonder dat hij zich voortdurend aan de verdedigers bloot gaf; de houten palissade was niet zomaar te beklimmen en bovendien na beschadiging vlug te herstellen. Tenslotte bood ook de donjon of toren nog bescherming. Aanvallers dienden een motte daardoor te belegeren, in een poging de verdedigers uit te hongeren, of, en hier school wellicht het grootste gevaar, te proberen het mottekasteel in brand te steken. Het tapijt van Bayeux toont ons bijvoorbeeld twee krijgers, die de motte van Dinan met fakkels in brand steken (afb. 10). Waarschijnlijk werden daarom de houten gebouwen en omheiningen op den duur door steenconstructies vervangen, zoals bij verschillende mottes werd vastgesteld.

Hoe kleiner het motteplateau, hoe minder plaats er was voor gebouwen en hoe groter het



waarop de houten palissaden rond het neerhof van de motte van Werken er heeft uitgezien.

residentiële karakter van het neerhof werd. De bewoners van het mottekasteel te Beveren-Waas in de buurt van Antwerpen bewaarden hun voorraden op de voorburcht en zelfs hun kledingstukken lagen in koffers, die op het neerhof stonden. Het is duidelijk dat daar de economische functie (het landbouwbedrijf, de werkplaatsen, de stallingen) van de motte gesitueerd was. Hier kon zich ook de kasteelkapel bevinden, die later soms tot parochiekerk werd.

Rond het fenomeen mottekasteel blijft nog heel wat onderzoek te doen. Eigenlijk staan we pas bij het begin van de verkenning ervan. Alhoewel de algemene lijnen door archeologisch onderzoek bevestigd worden, brengt elke verdere opgraving nieuwe gegevens aan het licht, die ons beeld van het mottekasteel wijzigen en vervolledigen.

Zowel wat de ontstaansgeschiedenis als de gebouwenstructuur betreft blijft onze kennis verre van volledig. De indeling en het gebruik van het neerhof zijn nog vrijwel onbekend. Dit heeft te maken met het feit dat opgraven van mottes een moeilijke en omslachtige vorm van

archeologisch onderzoek is. De opgraving van de heuvel zelf brengt meestal technische problemen met zich mee: er moet op grote diepten gewerkt worden, er moet veel grond afgevoerd worden en de archeoloog moet voortdurend verdacht zijn op instortingsgevaar en daar zijn maatregelen tegen nemen.

Het neerhof is dikwijls al evenmin gemakkelijk toegankelijk. De oorzaak ligt in de evolutie van het motte zelf: de heuvel werd verlaten, maar op wat eens het neerhof was treft men vaak nog steeds een actief landbouwbedrijf aan of nemen de parochiekerk en het bijbehorende kerkhof het grootste deel van het oorspronkelijke neerhof in. Toch draagt deze vorm van onderzoek ruim bij tot onze kennis van de geschiedenis van de 11de tot en met de 13de eeuw.

#### Literatuur

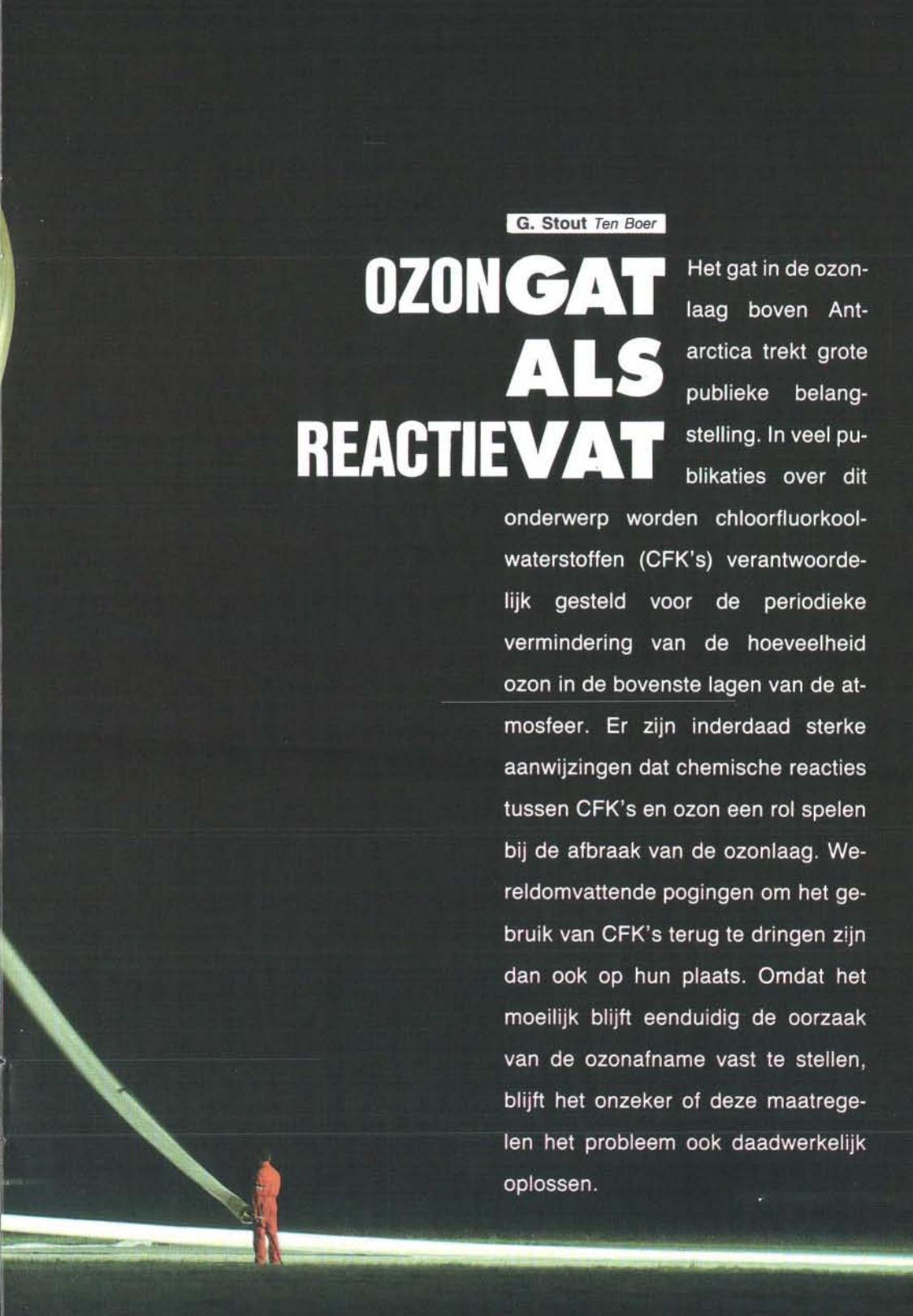
Besteman JC. Mottes in the Netherlands: A provisional survey and inventory. In: Hoekstra TJ e.a. (ed.). *Liber Castellorum*. Zutphen: De Walburg Pers, 1981, pag. 40-59.  
 De Meulemeester J. Castrale mottes in België. In: *Miscellanea Archaeologica in honorem H. Roosens. Archaeologia Belgica* 1983: 255, pag. 199-225.  
 De Meulemeester J. Aard(ige)(en) Monumenten. *Monumenten en Landschappen* 1985: 3, pag. 24-31.

#### Bronvermelding illustraties

KLM-Aerocarto, Schiphol: 1  
 Naar J.C. Besteman: 9  
 Alle overige illustraties zijn van de auteur.

Duitse onderzoekers brengen in het noorden van Scandinavie een ballon in gereedheid om de samenstelling van de stratosfeer te bepalen. De ballon voert een sonde mee omhoog die luchtmeters neemt en daarna aan een parachute weer afdaalt. Gecombineerd met satellietbeelden verschaffen de meetgegevens inzicht in de toestand van de ozonlaag, waarvan men vreest dat die ook boven de noordpool zal verslechteren.



A black and white photograph showing a person from behind, wearing a red jumpsuit, standing on a dark, flat surface. They are looking upwards at a bright, horizontal beam of light that cuts across the frame. The background is dark and indistinct.

G. Stout Ten Boer

# OZONGAT ALS REACTIEVAT

Het gat in de ozonlaag boven Antarctica trekt grote publieke belangstelling. In veel publicaties over dit onderwerp worden chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) verantwoordelijk gesteld voor de periodieke vermindering van de hoeveelheid ozon in de bovenste lagen van de atmosfeer. Er zijn inderdaad sterke aanwijzingen dat chemische reacties tussen CFK's en ozon een rol spelen bij de afbraak van de ozonlaag. Weerdomvattende pogingen om het gebruik van CFK's terug te dringen zijn dan ook op hun plaats. Omdat het moeilijk blijft eenduidig de oorzaak van de ozonafname vast te stellen, blijft het onzeker of deze maatregelen het probleem ook daadwerkelijk oplossen.

## De eerste berichten

De eerste berichten over een vermindering van het ozongehalte in de stratosfeer boven Antarctica stammen uit het begin van de jaren zeventig. Wetenschappers en natuurbeschermers maakten zich destijds grote zorgen over de verontreiniging van de luchtlagen boven tien kilometer hoogte door supersonische vliegtuigen als de Concorde, het toenmalige paradijsje van de Britse en Franse luchtvaartindustrie. De uitstoot van stikstoxyden ( $\text{NO}_x$ ) en waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ) zou deze luchtlagen verstoren. De zorgen over de atmosfeer bleken voorbarig. Het supersone luchtverkeer is nooit goed van de grond gekomen.

Uit metingen bleek niettemin dat boven Antarctica in het voorjaar de hoeveelheid ozon ( $\text{O}_3$ ) in de atmosfeer op hoogten tussen de 12 en 24 km telkens afnam. Metingen boven het Britse poolstation Halley Bay wezen op een afname van circa 40% tussen 1977 en 1984. Het 'ozongat' was een feit.

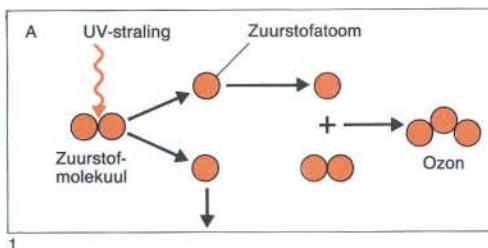
## De ozonlaag

Ozon is een gasvormige stof waarvan de moleculen bestaan uit drie zuurstofatomen. Het ontstaat in de bovenste luchtlagen van de atmosfeer door de inwerking van kortgolvig (242 nm) licht op gewone zuurstofmolekülen. De energie van het licht splitst  $\text{O}_2$  in twee zuurstofradicalen, uiterst reactieve deeltjes die elk beschikken over een ongepaard elektron. Deze radicalen reageren elk met een ander zuurstofmolekuul en vormen zo ozon. Deze reactie kan alleen verlopen als er een derde deeltje als intermediair aanwezig is. Meestal is dat een stikstofmolekuul, maar ook andere deeltjes kunnen die taak op zich nemen. Het intermediaire deeltje krijgt als gevolg van de reactie een grotere kinetische energie. Dit komt tot uiting in de relatief hoge temperatuur van de ozonlaag.

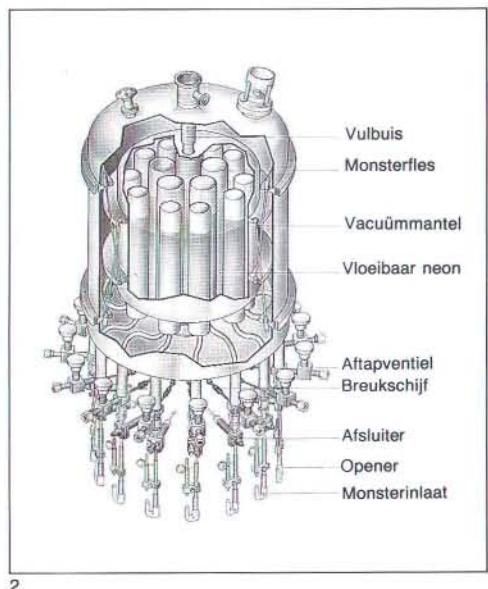
Het aldus gevormde ozon ontleedt door absorptie van licht met een golflengte tussen 230 nm en 290 nm. In de ozonlaag wordt dus voortdurend ozon gevormd en weer afgebroken. Het netto resultaat van deze reacties is dat de hoeveelheid ozon vrij constant is. In absolute termen gaat het om heel kleine hoeveelheden. De ozonlaag zou op zeeniveau (1 bar, 273 K) niet veel dikker zijn dan vier millimeter.

De hoeveelheid ozon in de atmosfeer wordt aangegeven in zogenaamde Dobson-eenheden. Eén Dobson komt overeen met een laagje ozon van 0,01 mm dik bij een druk van 1 bar en een temperatuur van 273 K. De ozonlaag boven Antarctica heeft een gemiddelde dikte van 300 Dobson. De maximale dikte is ongeveer 500 Dobson. Het minimum in het ozongat ligt in de buurt van de 180 Dobson.

1. Door absorptie van UV-light splitst een zuurstofmolekuul zich in twee radicalen, die met  $\text{O}_2$  tot ozon reageren (A). Het zo gevormde ozon (B) absorbeert ook licht, waarbij het uiteenvalt en er weer een radical ontstaat dat ozon kan vormen. Ozon verdwijnt langs natuurlijke weg (C) als het met een O-radical twee zuurstofmolekülen vormt.
2. Deze sonde neemt, hangend onder een ballon, luchtonders in de stratosfeer. Hierdoor bedient een onderzoeker het apparaat radiografisch. In de sonde heerst een temperatuur van 30 K. Terug op aarde wordt het monster via een aftapventiel met een gaschromatograaf geanalyseerd.



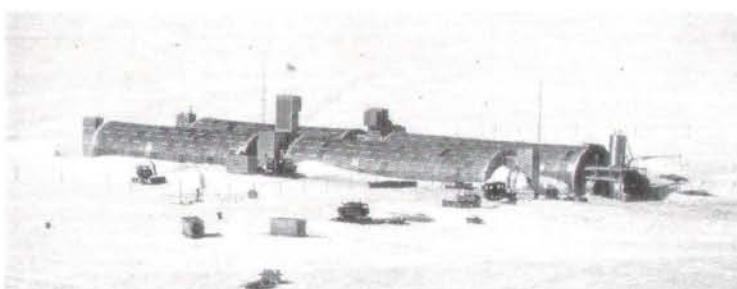
1



## Dunne schil

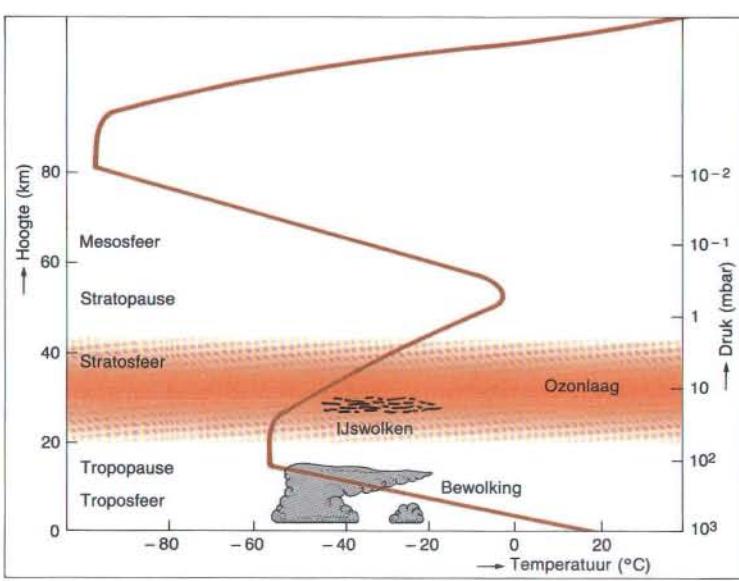
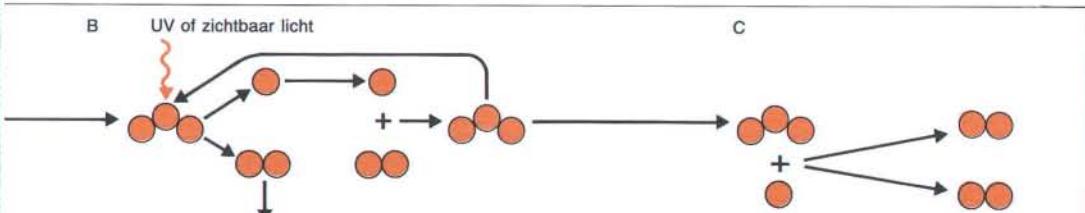
Het leven op aarde speelt zich voornamelijk af in de onderste laag van de atmosfeer. vergeleken met de straal van de aarde (6400 km) is de dikte van de atmosfeer verwaarloosbaar klein. Een duidelijke grens is niet goed aan te geven, maar vaak wordt 50 km als buitenkant van de atmosfeer aangehouden.

De luchtdruk, die vanaf het aardoppervlak ongeveer exponentieel afneemt, is op die hoogte ongeveer 0,001 bar. Op zee niveau is die druk nog 1 bar. De temperatuur van de lucht varieert eveneens met de hoogte. De temperatuur vormt de basis van de indeling van de diverse luchtlagen. De onderste luchtlag, de troposfeer, strekt zich uit van het aardoppervlak tot een hoogte van ca 16 km in de tropen



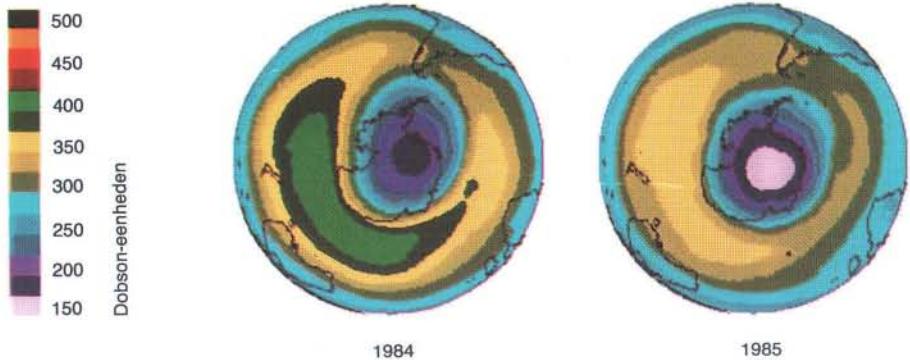
3

3. Het poolstation Halley Bay, waar Britse onderzoekers het gat in de ozonlaag boven de zuidpool ontdekt.



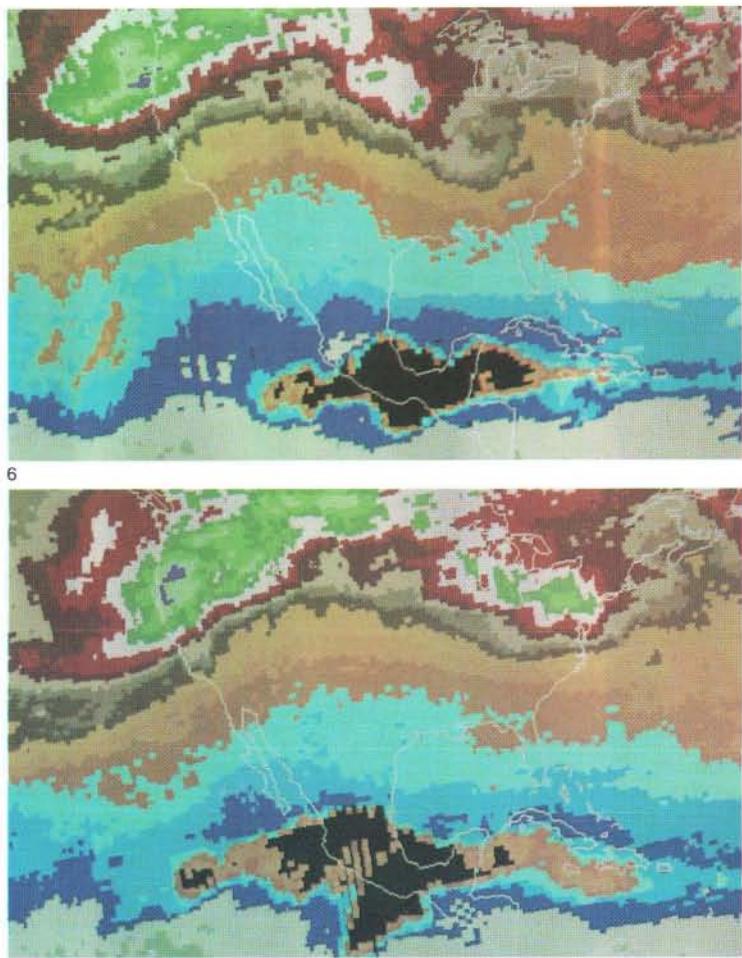
4

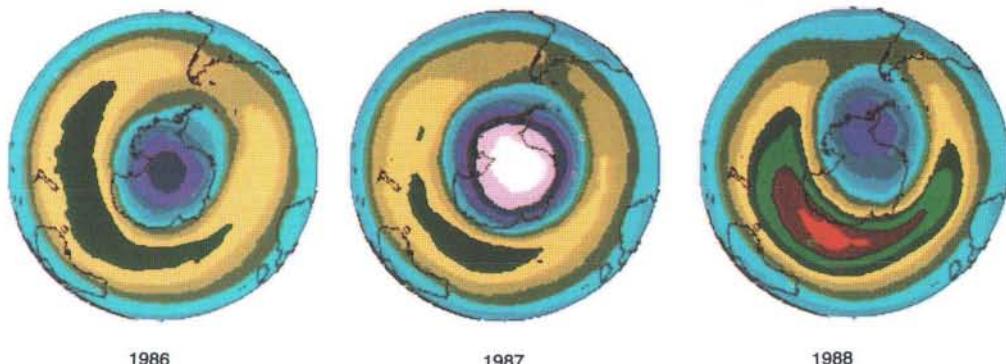
4. De luchtlagen van de atmosfeer worden op grond van hun temperatuur van elkaar onderscheiden. Een plotselinge wending in het temperatuurverloop, een zogenaamde pauze, markeert de grens tussen tweelagen. De druk neemt exponentieel af met de hoogte.



5. Ieder jaar in oktober is de ozonlaag boven Antarctica op zijn dunst. Uit deze opnamen, gemaakt door de Amerikaanse Nimbus 7 satelliet, blijkt dat de situatie afwisselend het ene jaar ernstiger is dan het andere. Door de onbekende invloed van de toenemende zonne-activiteit, is nog niet duidelijk hoe het gat van 1989 er uit zal zien.

6 en 7. De normale gehalten ozon in de atmosfeer zijn laag boven tropische gebieden (onderstaande foto's) en worden naar de polen toe steeds hoger (rood, groen en paars bovenin de foto's). Op deze opnamen van 5 en 6 april 1982 is goed te zien dat de hoeveelheid ozon dagelijks fluctueert. De zwarte vlek boven Midden-Amerika is een gat in de ozonlaag, ontstaan door heftige uitbarstingen van de vulkaan El Chicon tussen 28 maart en 4 april 1982.





en tot ongeveer 8 km in de poolstreken. Bij de bovengrens van de troposfeer heeft de lucht een temperatuur van 210 K. Het weer van alle dag is voornamelijk het resultaat van processen die zich in de troposfeer afspelen.

Boven de troposfeer begint de stratosfeer. De temperatuur van deze luchtlagen neemt door de ozonvorming en ozonafbraak, naar boven geleidelijk toe tot een maximum van ca 280 K (7°C). Boven de stratosfeer bevinden zich nog de mesosfeer en de ionosfeer. In deze zeer ijle luchtlagen verliest het begrip temperatuur zijn betekenis. De schaarse moleculen en atomen staan voortdurend bloot aan hoog-energetische straling van de zon. Deze lagen vormen de overgang naar het heelal.

### Luchtbewegingen

Om te kunnen begrijpen hoe verontreinigende stoffen zo hoog in de atmosfeer kunnen doordringen dat ze de ozonlaag aantasten, moeten we eerst bekijken hoe lucht door de atmosfeer kan bewegen.

Tot aan de bovengrens van de stratosfeer (50 km) vindt de menging van gassen en de verspreiding van luchtreinigingen vooral plaats als gevolg van luchtbewegingen. Op macroschaal is de wind het belangrijkst. Wind ontstaat door luchtdrukverschillen die weer het gevolg zijn van verschillen in temperatuur en in luchtmassa's. De effecten van wind zijn vooral merkbaar op grotere hoogten. Op microschaal zorgen ook verticale luchtbewegingen

(turbulenties) voor menging. Er is sprake van turbulenties als de richting en snelheid van luchtmassa's voortdurend veranderen. Turbulenties treden vooral op vlak bij het aardoppervlak, waar veel wrijving tussen lucht, land en zee voorkomt. Een proces als diffusie speelt nauwelijks een rol.

Door wind en turbulenties is in ongeveer twee jaar de lucht van het noordelijk en zuidelijk halfrond volledig uitgewisseld. Men spreekt in dit verband van horizontale circulaties. Er bestaan ook verticale circulaties en op een bepaalde breedtegraad vindt luchttuittwisseling van boven naar beneden binnen enkele maanden plaats. De verticale circulatie in de stratosfeer is veel geringer dan in de troposfeer, omdat in de stratosfeer de koude luchtlag onder de warme ligt. De zware koude lucht stijgt niet op.

De grens tussen de troposfeer en de stratosfeer vormt een barrière waarin het transport van gassen maar langzaam verloopt. Wanneer de lucht er wateroplosbare bestanddelen bevat, zullen die niet tot in de stratosfeer kunnen doordringen, maar opgelost in het regenwater op aarde terugvallen. CFK's lossen niet in water op en hebben daardoor kans om in de stratosfeer door te dringen.

De luchtcirculatie in de stratosfeer is deels onafhankelijk van die in de lagere luchtlagen. Lucht uit de tropische stratosfeer waait naar de poolstreken. Met deze lucht komt de ozon mee die boven de tropen is gevormd. Dit heeft tot gevolg dat op de breedten waar de meeste

zonnestraling wordt ingevangen de ozonconcentratie het laagst is.

In de polaire winter waait er boven Antarctica een krachtige poolwind die om de zuidpool meandert (golft). Er is een scherpe scheiding tussen deze 'golvende' poollucht en de luchtlagen op lagere breedtes. Uitwisseling van gassen treedt daardoor in de winter nauwelijks op en het ozon en de CFK's die in die lucht voorkomen, zitten als het ware gevangen boven de zuidpool. Op het noordelijk halfrond treedt iets vergelijkbaars op. Maar door de aanwezigheid van grote landoppervlakten, en de daar mee gepaard gaande temperatuurverschillen, is de scheiding tussen de meanderende wind om de noordpool en de luchtstromen op lagere breedtes niet zo scherp. Er is meer uitwisseling van lucht.

### Chemisch model

Door menselijke activiteiten komen veel luchtreinigende stoffen in de atmosfeer terecht. Het gaat hierbij om vaste, vloeibare en gasvormige verontreinigingen. In de onderste luchtlagen, de troposfeer, gaat het voornamelijk om stof (onder andere zware metalen en roet) en om zwavel- en stikstoxyden ( $\text{SO}_x$ ,

$\text{NO}_x$ ). De laatste zijn de hoofdschuldigen van zure neerslag. Bovengenoemde stoffen komen met droge of natte neerslag (sneeuw, hagel, regen) binnen niet al te lange tijd weer op aarde of in zee terecht. Dat geldt niet voor de CFK's; zij lossen immers niet in water op.

In het chemisch model dat de aantasting van de ozonlaag beschrijft, nemen sporengassen een belangrijke plaats in. Sporengassen zijn gassen die in zeer lage concentraties in de atmosfeer voorkomen (tabel 1). Verstoring van de hoeveelheden kan ingrijpende gevolgen hebben.

Sommige sporengassen hebben een natuurlijke oorsprong. Methaan (aardgas) is afkomstig van anaërobie vergisting van afgestorven planten. Vooral rijstvelden leveren een bijdrage aan het methaangehalte, maar ook andere producenten, zoals bepaalde termieten, spelen een rol. Distikstofmonooxyde is beter bekend onder de naam lachgas. Deze verbinding is afkomstig uit stikstofmeststoffen. De intensieve veehouderij en (over)bemesting met nitraat hebben de hoeveelheid van dit gas in de atmosfeer doen toenemen.

CFK's komen niet van nature voor. Ze zijn door de mens gemaakt en in het milieu gebracht. Chloorfluorkoolwaterstoffen zijn in

TABEL 1. Chemische samenstelling van de atmosfeer op zeeniveau

Stof	Volumepercentage
Stikstof ( $\text{N}_2$ )	78,088
Zuurstof ( $\text{O}_2$ )	20,949
Argon (Ar)	0,93
Waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ )	0,1 tot 1,0
Koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ )	0,03
Neon (Ne)	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Helium (He)	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Methaan ( $\text{CH}_4$ )	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Krypton (Kr)	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Waterstof ( $\text{H}_2$ )	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Distikstofmonooxyde ( $\text{N}_2\text{O}$ )	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Ozon ( $\text{O}_3$ )	$2,0 \cdot 10^{-6}$

8



TABEL 2. Enkele freonen

Handelsnaam	Formule	Systematische naam	Kookpunt (°C)	Smeltpunt (°C)
Freon 11	CCl <sub>3</sub> F	Trichloormonofluormethaan	23,8	- 111
Freon 12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	Dichloordifluormethaan	- 29,8	- 158
Freon 13	CClF <sub>3</sub>	Monochloortrifluormethaan	- 81,1	- 181
Freon 21	CHCl <sub>2</sub> F	Dichloormonofluormethaan	9,0	- 135
Freon 22	CHClF <sub>2</sub>	Monochloordifluormethaan	- 40,9	- 146
Freon 113	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	1,1,2-Trichloor-1,2,2-trifluorethaan	47,7	- 36,4
Freon 114	C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	1,1-Dichloor-1,2,2-tetrafluorethaan of: 1,2-Dichloor-1,1,2,2-tetrafluorethaan	3,6	- 94

de handel bekend onder de naam freonen. Het zijn derivaten van koolwaterstoffen (alkanen) waarin een of meerdere waterstofatomen door fluor en/of chloor zijn vervangen (tabel 2).

De handelsnaam Freon is in de dertiger jaren door de firma E.I. du Pont de Nemours & Company ingevoerd. Freonen zijn weinig reactief, onbrandbaar en goed bestand tegen invloeden van buitenaf. Ze hebben over het algemeen een laag kookpunt, zijn weinig visceus

en ze mengen niet met water. Deze eigenschappen maken freonen uitermate geschikt voor diverse toepassingen. De industrie gebruikt freonen als ontvettingsvloeistof en als koelmiddel in koelkasten, vriezers en airconditioningapparatuur. Verder fungeren freonen als 'blaasgas' bij de produktie van schuimplastic en, op bescheiden schaal, als 'blusgas' in brandblusinstallaties. Door diverse maatregelen is het gebruik van CFK's als drijfgas in sputtbussen inmiddels beperkt. Verbod op het gebruik van CFK's heeft op korte termijn geen effect. De verblijftijd in de atmosfeer van de meest gebruikte CFK's, Freon 11 en Freon 12, wordt op 75 respectievelijk 100 jaar geschat.

Het soort freon wordt aangegeven met een getal van twee of drie cijfers. Daarnaast hebben freonen een officiële chemische naam. Het laatste cijfer van het getal geeft het aantal fluoratomen in het molecuul aan. Het één na laatste cijfer wijst naar het aantal waterstofatomen plus één. Het twee na laatste cijfer geeft het aantal koolstofatomen aan minus één; in veel gevallen is dat het cijfer 0 (nul). Het wordt dan niet vermeld en het freon 'telt' slechts twee cijfers. Het aantal chlooratomen staat niet weergegeven, maar is eenvoudig te berekenen. De chlooratomen nemen de overgebleven plaatsen in.

Freonen horen tot de gehalogeneerde koolwaterstoffen. Deze verbindingen bevatten in meer of mindere mate fluor, chloor, broom en jood. In een groot aantal dagelijkse produkten zijn gehalogeneerde koolwaterstoffen verwerkt (tabel 3).



8. Door een dunner wordende ozonlaag bereikt steeds meer licht het aardoppervlak. Veel licht is gunstig voor plantengroei, maar er is ongetwijfeld een bovenlimiet aan de dosis zonnestraling die een plant kan verdragen. In deze opstelling probeert men voor algen die bovenlimiet te achterhalen.

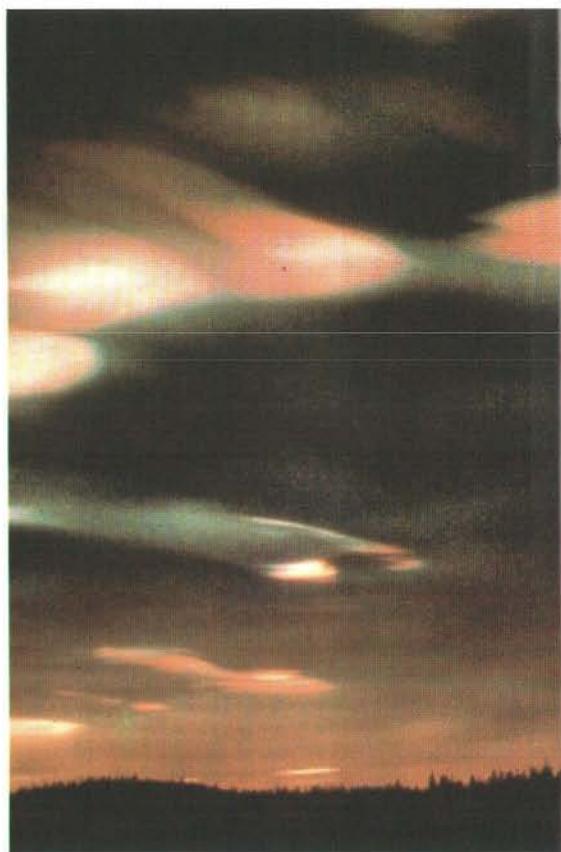
## Reacties in de atmosfeer

Freonen zijn zeer stabiele verbindingen. Dat is er de oorzaak van dat ze in stratosfeer terecht kunnen komen. Pas onder invloed van ultraviolette straling vindt afbraak plaats. De daarbij optredende reacties zijn onder te verdelen in *initiatie-, propagatie- en terminatiereacties*. Deze beschrijven de start, het vervolg en het eind van een aantal processen. Gezien de veelheid aan stoffen in de atmosfeer, spelen ook diverse neverreacties een rol.

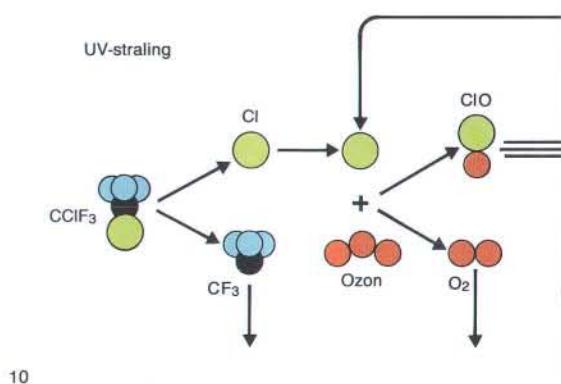
Onder invloed van ultraviolette straling splitsen freonen chloorrhadicale af. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van Freon 13 (afb. 10). De bij het begin van de afbraak ontstane, reactieve deeltjes kunnen met elkaar recombineren. Dit is een terminatiereactie. Interessant is de reactie tussen het chloorrhadicale en ozon. De ozon wordt afgebroken en er ontstaan zuurstof en een chloormonooxyderadicaal. Dit radicaal kan met een zuurstofradicaal reageren, onder vorming van opnieuw een chloorrhadicale en zuurstof, in de katalytische chloorcyclus. Ook kan het chloormonooxyderadicaal met ozon reageren. Opnieuw ontstaat een chloorrhadicale. Deze reacties zijn propagatie-reacties. Op deze manier kan één chloorrhadicale meer dan 100000 ozonmolekülen afbreken.

Tijdens de zuidelijke winter is de lucht boven Antarctica vrijwel afgesloten van de rest van de aardatmosfeer. De temperatuur in de stratosfeer daalt dan tot 183 K. Bij deze lage temperatuur ontstaan ijswolken. Op het oppervlak van de ijskristallen voltrekken zich diverse chemische reacties. De verbindingen die bij deze reacties zijn betrokken, zijn voor een deel afkomstig van de luchtverontreiniging die door de mens in de atmosfeer is gebracht. Volgens de huidige opvattingen wordt door deze reacties veel chloor en chloride opgeslagen op deze ijskristallen in de vorm van HCl, Cl<sub>2</sub>, ClO, Cl<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en ClONO<sub>2</sub>. Als in september of oktober de zon weer gaat schijnen en de ijswolken verdwijnen, komen chloor en de chloorverbindingen vrij. Enkele reacties die daarbij optreden zijn bij elkaar gezet in afbeelding 13. De eerste reacties verlopen ook in het donker, zodat er een ruime hoeveelheid ClO en HOCl aanwezig is in het zuidelijke voorjaar.

Chloor en chloormonooxyderadicale reageren met ozon en met zuurstofatomen. Ze

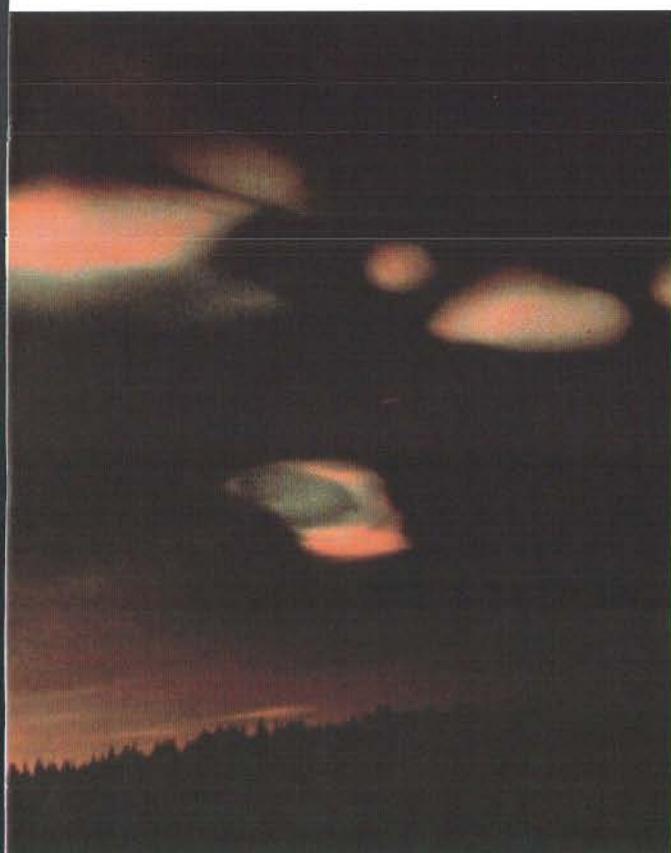


9



10

10. De afbraak van ozon door een CFK (hier Freon 13). In de zogenaamde katalytische chloorcyclus ontstaat steeds weer een reactief chloorrhadicale dat opnieuw een molekuul ozon kan afbreken. Verschillende neverreacties binden chloorrhadicale of vormen nieuwe ozon. Door het klimaat boven de zuidpool heeft de chloorcyclus echter sterk de overhand.



9. Aan het oppervlak van deze ijswolken in de stratosfeer vinden de reacties plaats die de afbraak van ozon in gang zetten.

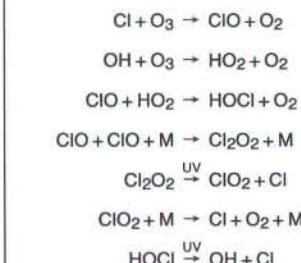
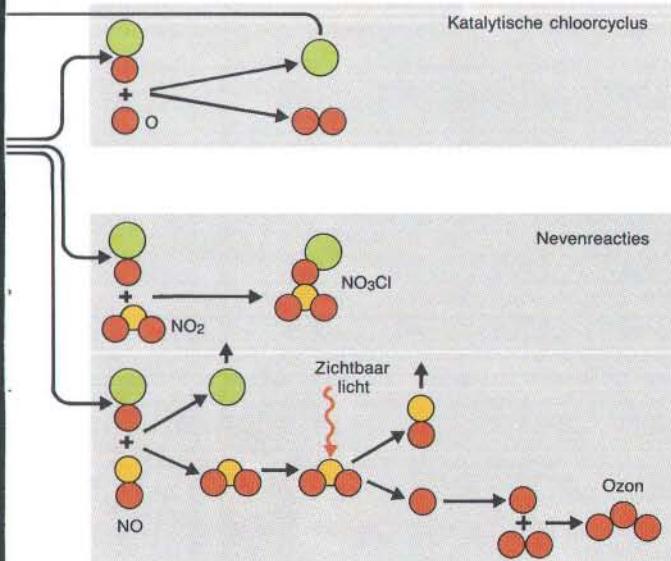
11 en 12. De gevolgen van een dunnere ozonlaag zijn nog niet te overzien, al vrezen sommigen een achteruitgang van de landbouwproducten. Zeker is dat de afbraak van met name transparante verflagen door UV-light de verffabrikanten nu al zorgen baart en dat die er niet minder op zullen worden.



11



12



13

13. De belangrijkste reacties die optreden bij het verdwijnen van de ijskristallen uit de stratosfeer.

TABEL 3. Veelgebruikte gehalogeneerde koolwaterstoffen

Chemische naam en handelsnaam	Formule	Toepassing
Tetrachloormethaan (tetra)	CCl <sub>4</sub>	Ontvettingsmiddel
Trichloormethaan (chloroform)	CHCl <sub>3</sub>	Vroeger veel gebruikt narcosemiddel
Dichloormethaan (methyleenchloride)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Ontvettingsmiddel
Trichlooretheen (tri)	CHClCCl <sub>2</sub>	Oplosmiddel bij chemische reiniging van kleding
Tetrachlooretheen	CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub>	Idem
1,1,1-Trichloorethaan	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	Verdunner van Tipp-Ex
Chloorethaan	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	Narcosemiddel voor plaatseijke vriesverdoving
1-Broom-1-chloor-2,2,2-trifluorethaan	CHBrClCF <sub>3</sub>	Narcosemiddel
Broommethaan (methylbromide)	CH <sub>3</sub> Br	Ontsmettingsmiddel in de (glas)tuinbouw
Polytetrafluoretheen (teflon)	(CF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	Anti-aanbaklaag in pannen, coating

verstoren daardoor het natuurlijke evenwicht dat bestaat tussen opbouw en afbraak van ozon. In het zuidelijke voorjaar komen grote hoeveelheden van deze radicalen ineens vrij, zodat de aanwezige hoeveelheid ozon snel verminderd. Het duurt enige tijd voordat het ozongat weer wordt opgevuld door aanvoer uit de stratosferische tropenlucht.

#### Onvoorspelbare gevolgen

Wie afgaat op het grote aantal publikaties over het ozongat komt gemakkelijk in de verleiding om te denken dat veel van de fysische en chemische processen die zich in de atmosfeer afspeLEN opgehelderd zijn. Schijn bedriegt. De onderzoekers van de atmosfeer hebben in de laatste tientallen jaren slechts een globaal inzicht gekregen in de reacties die zich in de lucht afspelen. Zo geeft tabel 1 slechts de gemiddelde samenstelling van de atmosfeer op zeeniveau weer. Door bosbranden, vulkaanuitbarstingen en door toe- of afnemende zonneactiviteit kan de samenstelling plaatselijk sterk variëren: een hoge zonne-activiteit veroorzaakt een hoger ozongehalte in de stratosfeer.

Door de bufferende invloed van de lucht hebben deze variaties vaak weinig effect op het klimaat. Een heftige vulkaanuitbarsting beïn-



14

14. Hoog in de stratosfeer beschermt ozon ons, maar op aarde is het gas één van de hoofdbestanddelen van smog. UV-light bevordert de smogvorming. Betekent minder ozon boven straks méér ozon hier beneden?

15. De angst voor huidkanker zit er goed in, getuige de grote belangstelling voor de 'Sproetenbus', een rijdende spreekkamer van huidspecialisten. Mogelijk draagt de onrust over de gevolgen van de ozonafbraak daarvan bij.



15

vloeit het weer hoogstens enkele jaren. Van de vulkanische gassen, zoals zwavelwaterstof, chloor, fluor, zwaveloxyden, waterstochloride en waterstoffluoride, is enkele maanden na een uitbarsting weinig meer terug te vinden. Voor CFK's geldt dat niet. Deze synthetische verbindingen blijven tientallen jaren in de atmosfeer aanwezig. Doordat de hogere luchtlagen boven Antarctica betrekkelijk weinig wisselwerking vertonen met de rest van de atmosfeer kunnen we het gedrag van CFK's bestuderen. Van alle mogelijke reacties is nog maar een deel bekend. De lange-termijneffecten van CFK's op de ozonlaag zijn daarom moeilijk te voorspellen.

Nu blijkt dat het ozongat zich over de hele aarde uitbreidt, blijven veel onderzoekers steken in speculaties over de oorzaken en gevolgen van de ozonafname in de bovenste luchtlagen. Wel weten we dat minder ozon in de atmosfeer betekent dat meer hoogenergetische UV-straling het aardoppervlak bereikt. De ultraviolette straling kan op zeeniveau tal van schadelijke reacties op gang brengen, vooral omdat in veel stedelijke gebieden de lucht sterk is verontreinigd met reactieve stoffen. In hoge verre een toename van huidkanker bij mens en dier of de afname van opbrengsten in de landbouw een gevolg zijn van de afname van de ozonconcentratie, is niet met zekerheid te zeg-

gen. In de komende vijf jaar is er sprake van een toename van de zonne-activiteit. Dit heeft een stijging van het ozongehalte tot gevolg. Of deze stijging voldoende is om de afname door het gebruik van CFK's te compenseren is niet duidelijk. Wetenschappers vrezen wel dat regeringen minder gauw met geld voor verder onderzoek over de brug zullen komen als blijkt dat het ozongehalte niet verder afneemt.

### Ingewikkeld

De samenstelling van de atmosfeer is uiterst ingewikkeld. Dat geldt ook voor de chemische reacties die optreden tussen de verschillende bestanddelen. Door uitgebreid onderzoek is inmiddels duidelijk geworden dat freonen een niet onbelangrijke rol spelen bij de afbraak van de ozonlaag. Veel westerse landen hebben daarom besloten het gebruik van freonen terug te dringen. Medio 1998 moet het verbruik de helft zijn van wat in 1986 werd verbruikt. Alleen Zweden en Noorwegen hebben al besloten om aanvoer van freonen halverwege de jaren negentig te gaan verbieden. Per hoofd van de bevolking gebruiken de Europeanen circa 85 kg CFK's per jaar. Gezien de lange verblijftijd van deze stoffen in de atmosfeer zal pas in de volgende eeuw duidelijk worden of de huidige maatregelen ook effect sorteren.



### Literatuur

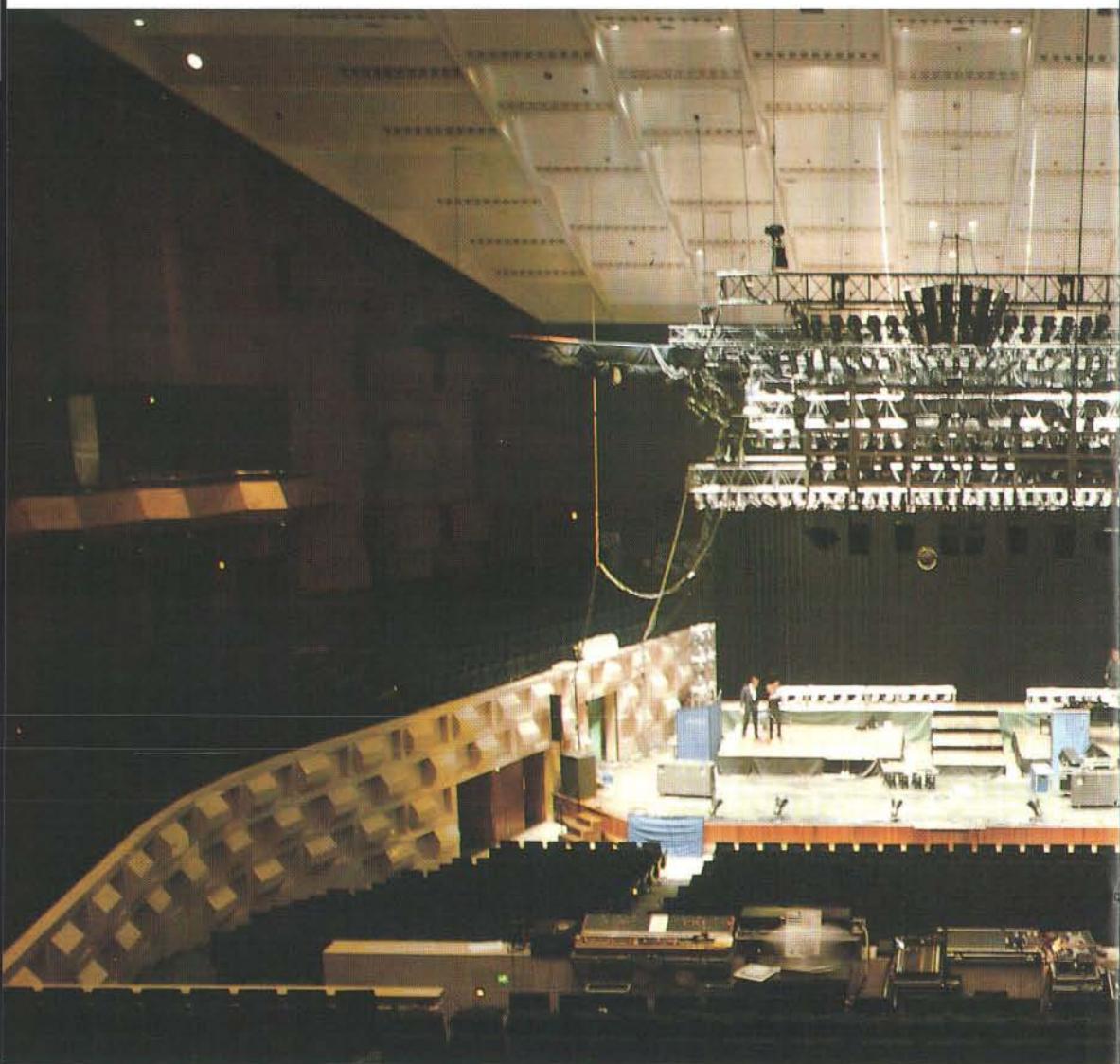
- Gribbin J. *The Hole in the Sky*. Londen: Corgi, 1988
- Gribbin J. *The Ozone-Layer*. New Scientist 5 mei 1988
- Stolarski RS. *The Antarctic Ozone Hole*. Scientific American 1988; 258; 1, 20-26
- Thrush BA. *The Chemistry of the Stratosphere and its Pollution*. Endeavour 1977; 1, 3-6

### Bronvermelding illustraties

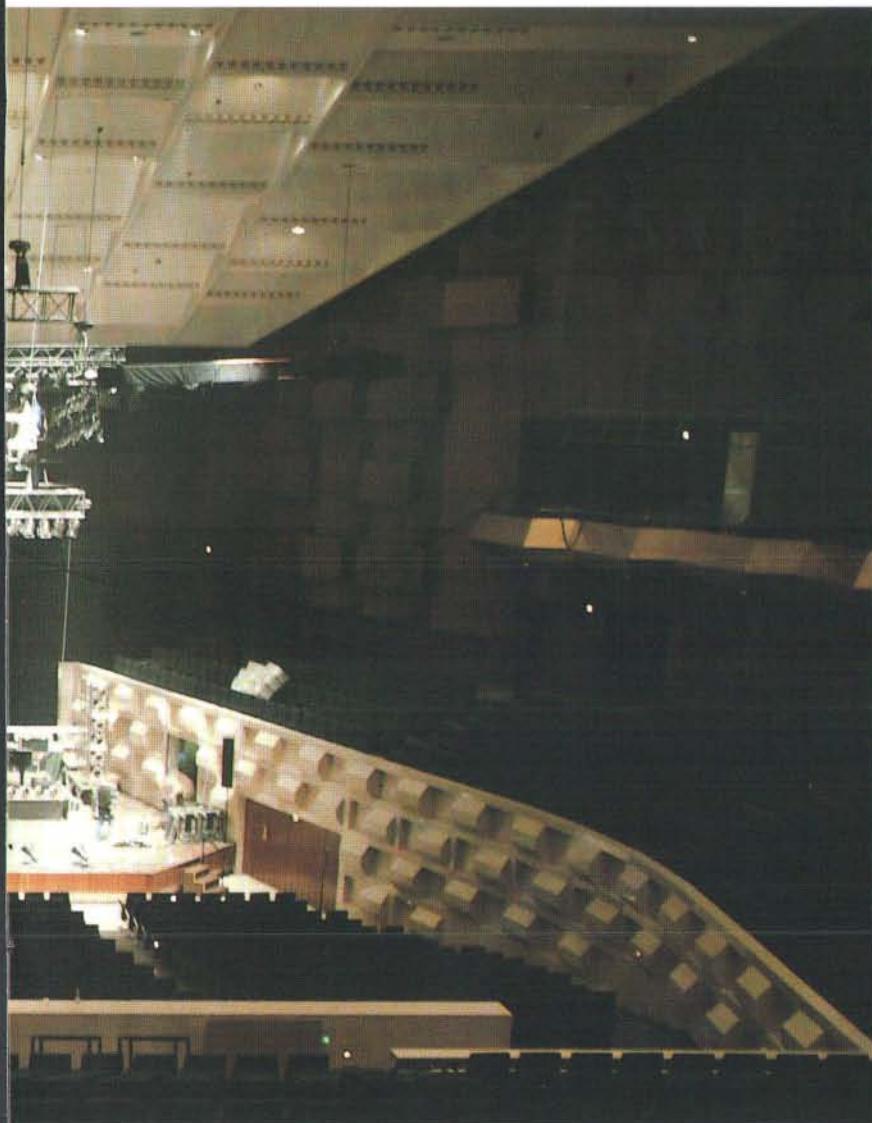
- Dr U. Schmidt, Kernforschungsanstalt Jülich, BRD: pag. 702-703, 2
- D. Allan, British Antarctic Survey, Cambridge, UK: 3
- NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA: 5, 6 en 7
- Wolfgang Tscharnke, Dreieich, BRD: 8
- Dr F. Arnold, MPG, Heidelberg, BRD: 9
- Transworld Features Holland BV, Haarlem: 11
- AKZO Coatings Division, Sassenheim: 12
- ANP Foto, Amsterdam: 14 en 15

Een concertzaal met een goede akoestiek is volgens velen een kwestie van toeval. Een veelgehoorde mening is dat alleen oude zalen een goede akoestiek hebben. Zeker is dat het vak zaalakoestiek, vooral wanneer concertzalen het onderwerp van onderzoek zijn, vaak niet tot de exacte wetenschappen wordt gerekend. De zaalakoesticus doet dat wel, maar

zal toegeven dat in het recente verleden zalen met een minder fraaie akoestiek zijn gebouwd. Zulke 'missers' halen altijd ruimschoots de publiciteit. Er bestaan echter vele moderne concertzalen met uitstekende akoestische kwaliteiten, weloverwogen tot stand gebracht door een bekwaam akoesticus in samenwerking met een 'luissterende' architect.

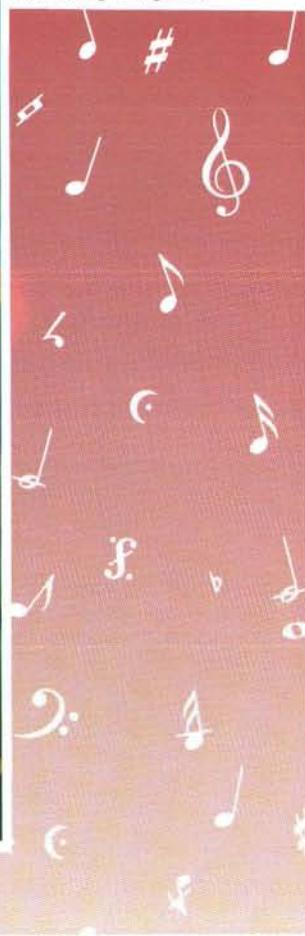


# ZAAALAKOESTIEK **KLANK** OP MAAT



D. de Vries  
Technische Universiteit Delft

In de Grote Zaal van de Doelen in Rotterdam ontvangen de toehouders in het midden van de zaal voldoende van de zijkant afkomstige reflecties. Reliëfstructuur van de zaalwanden draagt bij tot de verstrooiing van geluid.



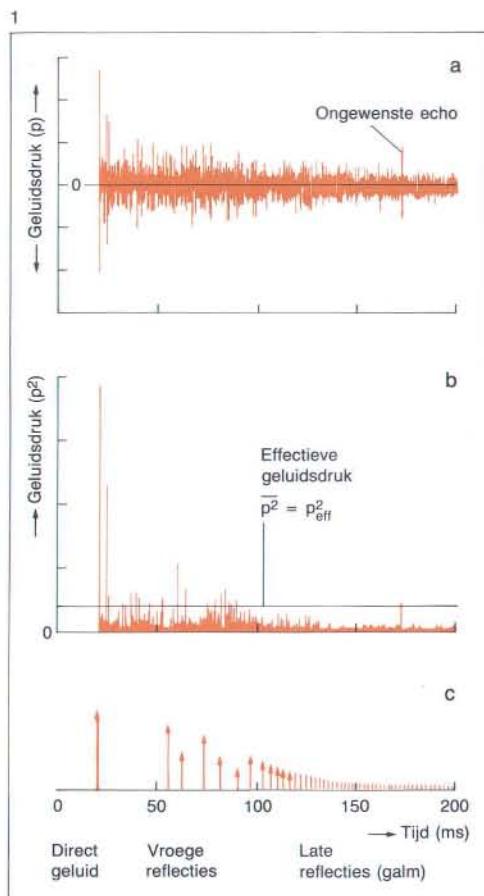
De zaalakoesticus bedrijft wetenschap omdat aan geluid in principe niets toevallig of geheimzinnig is. Geluid is een fysisch verschijnsel dat wordt beschreven door een wiskundige uitdrukking, de akoestische golfvergelijking. Deze vergelijking met de geluidsdruck als onbekende is op te lossen, wanneer de randvoorwaarden van het systeem bekend zijn. De oplossing is de exacte geluidsverdeling in een zaal en kan worden berekend indien de soort en de plaats van de geluidsbron, de vorm van de zaal en de akoestische eigenschappen van de wanden gegeven zijn. Voordat de akoesticus echter kan gaan rekenen, spandeert hij veel energie en tijd aan onderzoek teneinde de nodige gegevens te verkrijgen. Daarmee is de zaalakoestiek gedefinieerd als een exacte wetenschap. Skeptici roepen nu dat de luisteraar de akoestiek in een zaal niet in termen van geluidsverdelingen beoordeelt, maar volgens subjectieve criteria als warmte, helderheid, volheid van klank en dergelijke. Dit is helemaal waar, maar gelukkig is over de samenhang tussen fysische (objectieve) parameters en perceptieve (subjectieve) beleving veel, hoewel niet alles, dank zij wetenschappelijk onderzoek bekend.

Het bovenstaande geeft aan dat de moderne zaalakoesticus geen magiër is, maar een geschoold vakman. Er is echter een principiële complicatie die hem bij zijn werk parten speelt: welke akoestiek optimaal is, hangt af van het geboden programma. Een toneelvoorstelling stelt andere akoestische eisen dan een zangrecital of een symfonisch concert. Wanneer een zaal voor verschillende doeleinden gebruikt moet worden – hetgeen vaak op economische gronden het geval is – kan er alleen voor een per definitie onbevredigend compromis gekozen worden, tenzij op één of andere wijze een variabele akoestiek is te realiseren. Aan het slot van dit artikel zal worden ingegaan op de mogelijkheden die de moderne elektronica in dit opzicht biedt. Eerst volgt echter de fysieke beschrijving van het geluidsveld in een zaal en de besprekking van de relatie tussen fysica en perceptie.

### Van bron naar ontvanger

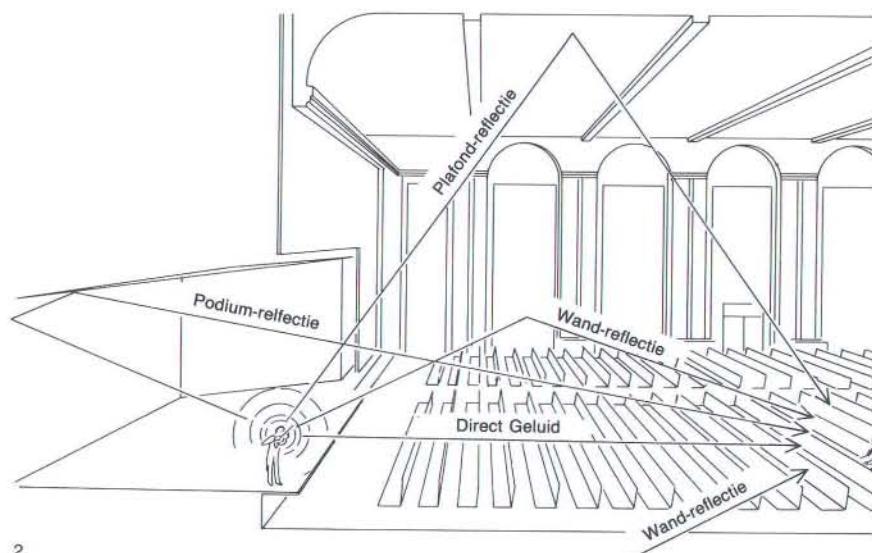
De elementaire fysische grootheid waarmee we een geluidsveld beschrijven, is de druk die de luchtdeltjes op elkaar uitoefenen. Bij afwezigheid van geluid is deze gelijk aan de atmosferische druk, maar een trillende geluidsbron veroorzaakt hierin een ‘rimpel’. Dit is een verstoring die zich, met positieve en negatieve waarden ten opzichte van de heersende druk, als een golf uitbreidt. Zij brengt eventueel onze trommelflizeen of het membraan van een microfoon in trilling. Het is deze verstoring die we aanduiden als de *geluidsdruck*. Gemiddeld over de tijd heeft deze, ten opzichte van de atmosferische druk, een waarde nul. Een goede maat voor de energie, de fysische geluidssterkte, is echter de *effectieve waarde* van de geluidsdruck.

Deze waarde wordt berekend als de wortel uit het gemiddelde van de gekwadrateerde geluidsdruckwaarden. Intuïtief voelen we aan dat de effectieve waarde te maken zal hebben met wat we subjectief als luidheid ervaren. Een logaritmische bewerking van de effectieve waar-



1. De geluidsdruck die ontstaat na het veroorzaken van een knal wordt geregistreerd als een pulsresponsie (a). De over de tijd gemiddelde waarde van de gekwadrateerde geluidsdrucken ( $\bar{p}^2$ ), ook wel effectieve waarde van de geluidsdruck genoemd ( $P_{eff}^2$ ), is een goede maat voor de geluidssterkte (b). In de pulsresponsie kunnen vroege en late reflecties onderscheiden worden en eventueel een echo. Met een rekenmodel kan de werkelijkheid worden benaderd (c).

2. Het geluidspatroon in een concertzaal.



2

de levert het *geluidsdruckniveau*, uitgedrukt in de bekende decibel (dB).

Een luisteraar in een zaal ontvangt allereerst het *directe* geluid van een bron. Dat geluid bereikt ons zonder omwegen, langs een directe lijn tussen bron en oor. De sterkte hiervan zal uiteraard geringer zijn naarmate de toehoorder zich verder van de bron bevindt. Na het directe geluid bereikt een – vaak zeer groot – aantal *reflecties* onze oren. Dat zijn weerkaatsingen die één of meermalen een wand, plafond, vloer of ander obstakel op hun weg hebben getroffen. Reflecties komen dus altijd later dan het directe geluid, ze zijn zwakker – door de langere looptijd èn door het energieverlies bij weerkaatsing – en hebben in het algemeen een andere richting. De reflecties vormen te zamen het *galmveld*. Dicht bij de bron zal het directe geluid in sterkte overheersen, achter in de zaal het galmveld. Een bijzondere afstand in een zaal is de *galmstraal*, de afstand tot de bron waar direct geluid en galmveld even sterk zijn.

Het hierboven beschreven geluidspatroon bevat alle akoestische informatie van de overdrachtsweg tussen bron en ontvanger. Het patroon is aanschouwelijk te maken in de vorm van een *pulsresponsie*. Bij het maken van een pulsresponsie veroorzaakt men in een zaal een korte knal en meet daarop het directe geluid en alle reflecties. In een *diffus* geluidsveld verde-

len de reflecties zich gelijkmataig over de ruimte, waarbij het aantal reflecties per tijdseenheid kwadratisch toeneemt, terwijl de amplitudes exponentieel afnemen. In werkelijkheid is een geluidsveld nooit echt diffus: de tijdsverdeling van de reflecties is onregelmatiger en hun amplitudes nemen minder gelijkmataig af. Een reflectie die in amplitude sterk boven de rest van het signaal uitsteekt, neemt de toehoorder vaak waar als een ongewenste echo. Als we alle energie in de pulsresponsie sommeren, kunnen we het totale geluidsdruckniveau bepalen. Uit de mate waarin de sterkte van de reflecties als functie van de tijd afneemt kan de *nagalmtijd* worden berekend.

De nagalmtijd heeft altijd een grote rol gespeeld in de zaalakoestiek en wordt door velen nog steeds beschouwd als dé zalig- (of onzalig-)makende parameter. De nagalmtijd is gedefinieerd als de tijd waarin, na uitschakelen van een geluidsbron, het geluidsdruckniveau 60 dB daalt. Deze daling komt ongeveer overeen met het niveauverschil tussen een luid gespeeld akkoord van een orkest en het achtergrondgeluid in een zaal. Het uitklinken van een majestueus akkoord duurt dus de nagalmtijd. Is de nagalmtijd te lang, dan valt de nieuwe inzet nog in het geluid van het vorige akkoord; bij een te korte nagalmtijd hangen de opeenvolgende klanken als 'los zand' aan elkaar en heet de zaal te droog (Intermezzo I).

## ■ Voorspelling van nagalmtijd ■

Rond de laatste eeuwwisseling legde de Amerikaan Wallace C. Sabine, uitgaande van een *diffusus* model van het galmveld, een verband tussen de nagalmtijd T, het zaalvolume V, het begrenzende oppervlak S en de gemiddelde geluidsabsorptiecoëfficiënt  $\alpha$ . Hij vond de volgende formule:

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{S\alpha}$$

De dimensies lijken hier niet te kloppen, seconden worden gelijkgesteld aan meters, maar in de constante  $1/6$  is numeriek de voortplantingssnelheid van geluid in lucht bij kamertemperatuur verwerkt:  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . De absorptiecoëfficiënt van een materiaal – gedefinieerd als het deel van de energie van een geluidsgolf dat niet wordt teruggekaatst – is frequen-

tie-afhankelijk en de nagalmtijd dus ook. De nagalmtijd voor een zaal is het gemiddelde van de nagalmtijden van de frequenties 500 en 1000 Hz.

Test men deze formule in een zaal, dan treden vaak grote afwijkingen op, voortkomende uit de gebrekbaarheid van het diffuse model. De vloer met stoelen en/of publiek is immers sterk geluidsabsorberend, terwijl wanden en plafond doorgaans akoestisch hard zijn. De gelijkmatige geluidsverdeling die het diffuse model onderstelt is dan ver te zoeken.

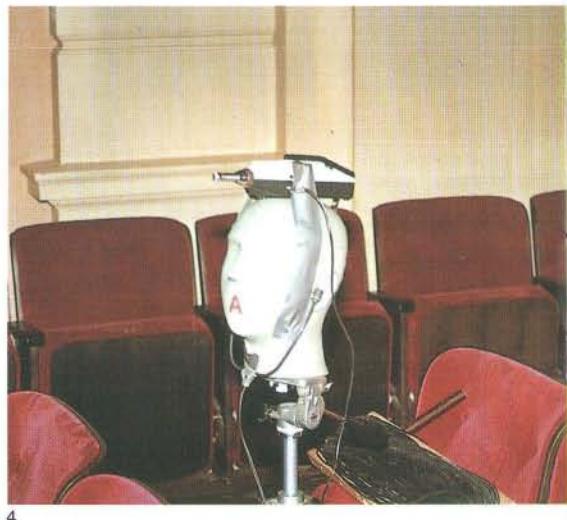
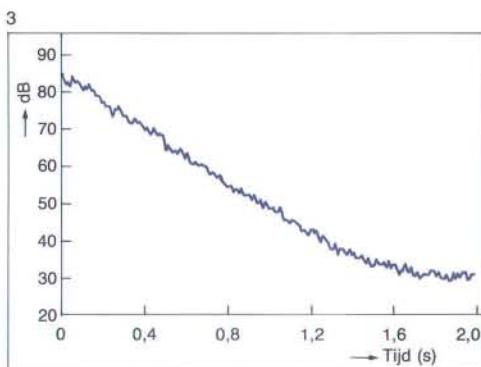
Vele onderzoekers na Sabine hebben geprobeerd een zo eenvoudig mogelijke formule met een betere voorspellingswaarde af te leiden. Een geslaagde poging deed wijlen de Delftse hoogleraar Kosten. Hij stelde en verifieerde dat in een concertzaal alle ge-

Vroeger mat men de nagalmtijd met behulp van een ruisbron: na het bereiken van een stationair niveau werd de bron uitgeschakeld en het uitklinkverschijnsel geregistreerd. De helling van de curve leverde de nagalmtijd. De laatste jaren is echter de nagalmtijdbepaling uit pulsresponsie in zwang gekomen.

Een luisteraar ervaart ruimtelijkheid in een zaal dankzij het feit dat hij twee oren heeft, die het directe geluid en de reflecties met verschillende looptijden en sterkten ontvangen. Een fysieke maat voor de ruimtelijkheidspercepsie zal dus nooit gebaseerd kunnen zijn op een opname met één microfoon, omdat dit, zoals iemand op een akoestisch congres eens zei: "een nabootsing is van de luisteraar met slechts één oor, van wie ook nog de oorschelp is afgesneden." Metingen met richtingsgevoelige microfoons kunnen soelaas bieden, maar beter nog is het gebruik van een kunsthoofd met gewone microfoons in de oorschelpen.

### Meten of rekenen

Het tragische aan het beroep van de akoesticus is dat hij vaak pas wordt ingeschakeld als het al te laat is. Ook in dit vak dempt men vaak de put als het kalf verdronken is. Pas wanneer een zaal slechte akoestische eigenschappen heeft, worden er metingen verricht om de oorzaak van de tekortkoming op te sporen. Zulke



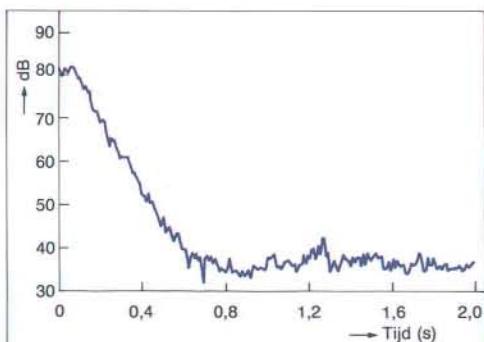
## INTERMEZZO I

luidsabsorptie evenredig is met het 'bestoelde oppervlak'  $S_s$ , zodat in analogie met Sabines resultaat te schrijven is:

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{S_s \cdot \alpha_{eq}}$$

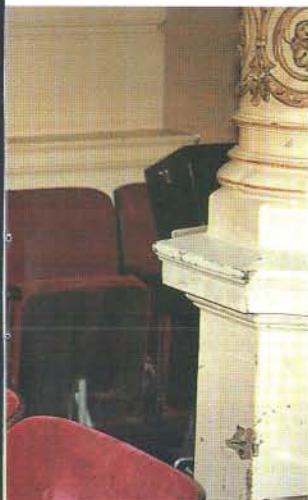
waarin  $\alpha_{eq}$  de equivalente absorptiecoëfficiënt is van  $1 \text{ m}^2$  bestoeld oppervlak.

Voor een concertzaal met harde wanden en plafond, geheel bezet met publiek en groot orkest, vond hij  $\alpha_{eq} = 1,07$ , een waarde die geldig is als gemiddelde voor de oktaafbanden van 500 en 1000 Hz. Uit deze formule is af te leiden dat, uitgaande van  $0,8 \text{ m}^2$  vloeroppervlak per persoon, een zaalvolume van  $10 \text{ m}^3$  per persoon nodig is om een nagalmijd van 2,0 seconden te bereiken.



3. Twee nagalmcurven die de niveaudaling als functie van de tijd aangeven nadat de ruisbron is uitgeschakeld. De linker curve is opgenomen in een zaal met een lange nagalmijd, de rechter in een 'droge' zaal die zich kenmerkt door een korte nagalmijd.

4. Bij geluidsopnamen met een kunsthoofd met microfoons als oren registreert men, anders dan met normale stereomicrofoons, ook de verstrooiingseigenschappen van hoofd en oorschelpen.



situaties dienen te worden voorkomen door al in het ontwerpstadium van de zaal met akoestische eisen rekening te houden.

De akoestiek van een zaal die alleen nog maar op een bouwtrekking bestaat, is echter niet te meten. De akoesticus is dan aangewezen op rekentechnieken. Dank zij de stand van de computertechniek is er momenteel op dit gebied veel mogelijk. Op grond van de vorm van de zaal en de materialen die de architect denkt te gebruiken, is het mogelijk om pulsresponsies en daarmee samenhangende parameters te vinden door uit te rekenen hoe van een bron afkomstige geluidstralen hun weg door de zaal afleggen en waar, wanneer en uit welke richting ze een luisterraar bereiken. De techniek heet *ray-tracing*. Deze en andere berekeningen zijn altijd gebaseerd op een vereenvoudigd model van de werkelijkheid. Niet ieder vormdetail kan in de simulatie worden meegenomen, terwijl de akoestische eigenschappen van materialen vaak globaal worden geschat. De akoesticus moet zoeken naar een optimaal compromis tussen eenvoud van het model en nauwkeurigheid van de voorspelling.

Wenst men slechts een globale schatting van de akoestische eigenschappen, dan is het niet eens nodig de computer in te schakelen. Door uit te gaan van een diffuus geluidsveld beschikt men over een rekenmodel dat weliswaar een aanvechtbare benadering van de werkelijkheid biedt, maar toepassing van zeer eenvoudige rekenregels mogelijk maakt. Deze methode gebruikt de akoesticus in geval er alleen nog maar schetsontwerpen van de zaal bestaan.

## Perceptie en fysica

De criteria waarop een spreker, luisterraar of musicus de klankeigenschappen van een zaal beoordeelt, hangen waarschijnlijk op één of andere manier samen met de fysische parameters die uit metingen resulteren. Het eenvoudigst voor te stellen is de relatie tussen de geluidssterkte die de luisterraar ervaart en het gemeten geluidsdrukniveau. Het verband hier tussen blijkt eenduidig, als we corrigeren voor het feit dat het menselijk oor bij verschillende frequenties de luidheid van dezelfde geluidsdruk anders ervaart. Een toon van 100 Hz en 50 dB klinkt bijvoorbeeld voor ons even hard als een toon van 10 000 Hz bij een geluidsdruk van 30 dB.

Daarnaast is algemeen bekend dat een zaal droog klinkt wanneer de nagalmtijd kort is. Nader onderzoek heeft geleerd dat de akoestiek als warm wordt omschreven wanneer de nagalmtijd voor lage tonen langer is dan voor de middentonen. Naarmate de nagalmtijd voor hoge frequenties langer is, beoordeelt men de akoestiek als helderder.

Voor goede spraakverstaanbaarheid en doorzichtigheid van muziek is het nodig dat de energie in het eerste deel van de pulsresponsie – voor spraak tot 20 à 50, voor muziek tot 80 à 100 milliseconden – groot is ten opzichte van de energie in het latere deel van de pulsresponsie. Reflecties die vanaf de zijwanden bij de luisterraar terechtkomen, dragen ertoe bij dat het geluid als ‘ruimtelijk’ wordt ervaren, mits de reflecties tussen 25 en 80 ms na het directe geluid bij de oren arriveren. De ruimtelijkheid kan ook worden gequantificeerd door het verschil tussen de twee pulsresponses aan beide oren van een kunsthoofd te bepalen: hoe meer de beide responsies verschillen, des te groter is de ruimtelijkheid.

Behalve de zaalkoestiek, is ook de akoestiek op het podium belangrijk. Een spreker, musicus of toneelspeler moet het idee hebben dat hij overkomt. De nagalmtijd moet daarom

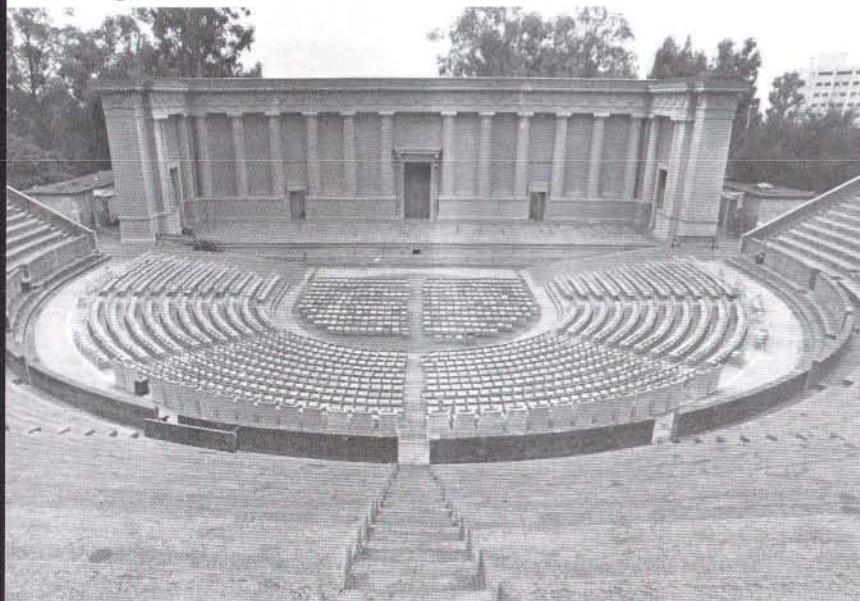
lang genoeg zijn, zodat er nog enige terugkoping naar het podium optreedt. Musici in een ensemble moeten, ten behoeve van correct samenspel, elkaar kunnen horen en de ervaring wijst uit dat dit kan als de podiumomgeving voldoende sterke, vroege reflecties genereert.

### Amfitheater: de ideale spreekzaal

Het belangrijkste criterium voor een goede akoestiek in een zaal waar lezingen en cabaret- en toneelvoorstellingen plaatsvinden is een goede spraakverstaanbaarheid. Zoals gezegd is hiervoor nodig dat de energie van zowel het directe geluid als de vroege reflecties – die door het oor gezamenlijk verwerkt worden – groot is ten opzichte van de latere reflecties.

De eerste voorwaarde voor een optimaal direct geluid is dat er goede zicht- en dus tevens hoorlijnen lopen van luisterraar naar spreker, bijvoorbeeld door toepassing van een naar achteren oplopende zaalvloer of een amfitheatrische vormgeving. Daarnaast is het zaak om, door verstandig gebruik van geluidsabsorberende materialen, de nagalmtijd kort te houden, maar weer niet zo kort dat de spreker het gevoel heeft dat hij de zaal niet kan ‘aanspreken’. Een waarde rond 1 seconde blijkt opti-

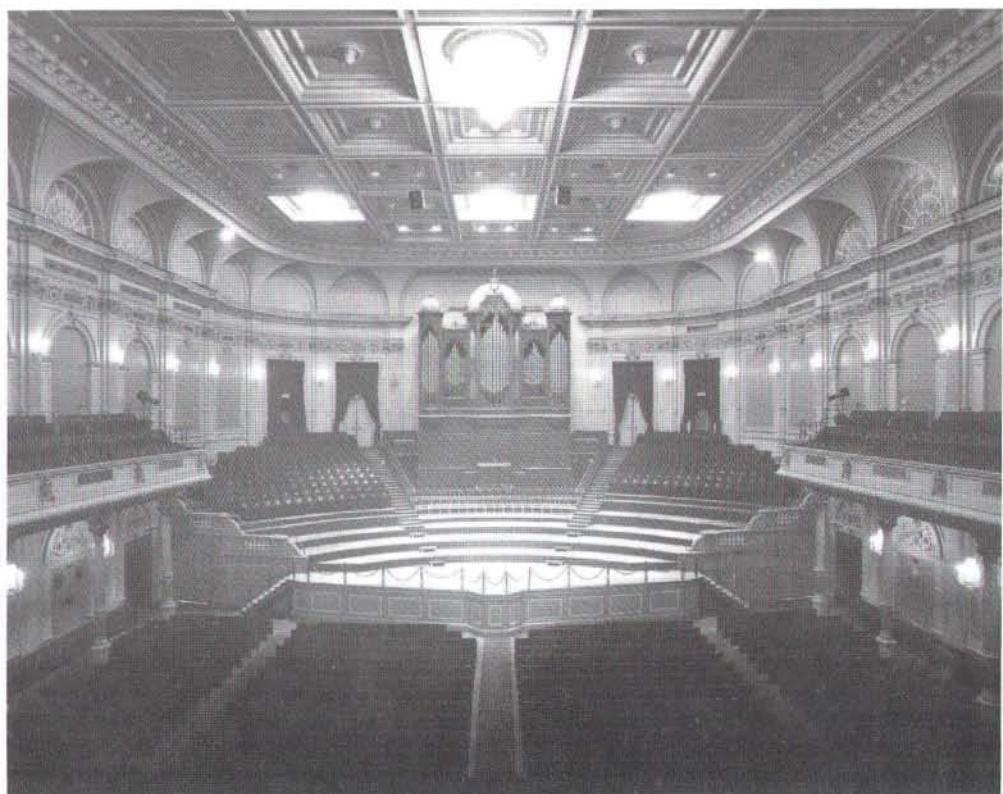
5



5. Het amfitheater van de University of California in Berkeley, leent zich uitstekend voor spraakweergave door de klankwand achter het podium.

6. De akoestische trots van Nederland: het Concertgebouw. In deze ‘schoenendoos’-vormige zaal zorgen de zijwanden en -balcons voor een ideaal patroon van zijsuurtse reflecties.

7. Soms moet de akoestiek op het podium verbeterd worden. Door het geluid met microfoons op te nemen en vertraagd via boxen weer te geven krijgt men het gewenste reflectiepatroon.



6

7



maal te zijn. Is de nagalm tijd aanzienlijk langer – men denke aan oude, grote kerken – dan moet het directe geluid worden ondersteund door vroege reflecties. Dit kan door een klankbord boven de (s)preekstoel aan te brengen, of elektronisch met een geluidsinstallatie die speciaal voor spraakverstaanbaarheid is ontworpen.

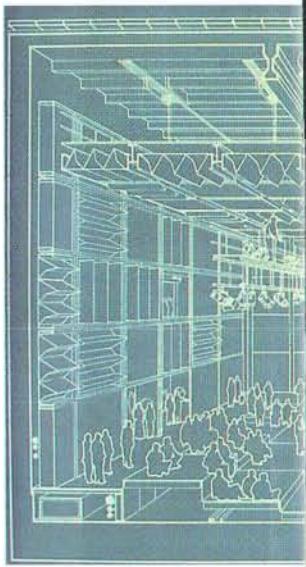
Bij zo'n *public-adressinstallatie* wordt het geluid van de spreker opgenomen, versterkt en door luidsprekers op het publiek gericht. Vertraging van het luidsprekerssignaal is vaak gewenst om te voorkomen dat dit de luisteraar eerder bereikt dan het onversterkte stemgeluid van de spreker. Dit laatste zou hinderlijk zijn omdat het eerst binnenvoerende geluid de lokalisatie bepaalt en men dan de spreker uit een andere richting zou horen dan waar men hem ziet. Het is nodig het versterkte signaal direct op het publiek te richten, omdat anders indirect ook het galmveld wordt versterkt en dat is nu juist niet de bedoeling. Van de eigenschap



8

8, 9. De concertzaal van het IRCAM in Parijs laat zien hoe met bouwkundige middelen een variabel akoestiek kan worden gerealiseerd: wanden en plafond zijn verplaatsbaar en bestaan uit prismavormige elementen met een absorberend, een reflecterend en een verstrooïnd vlak.

10. De kleine zaal van De Doelen in Rotterdam.



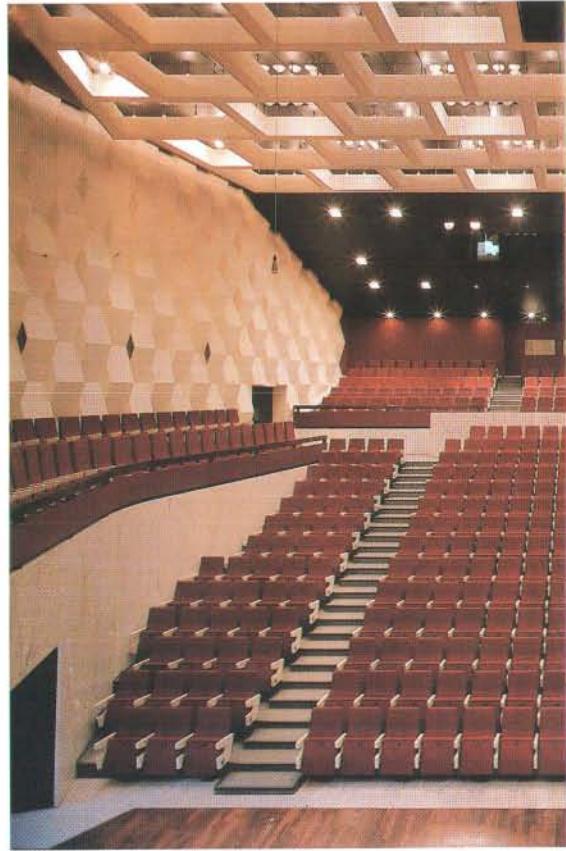
9

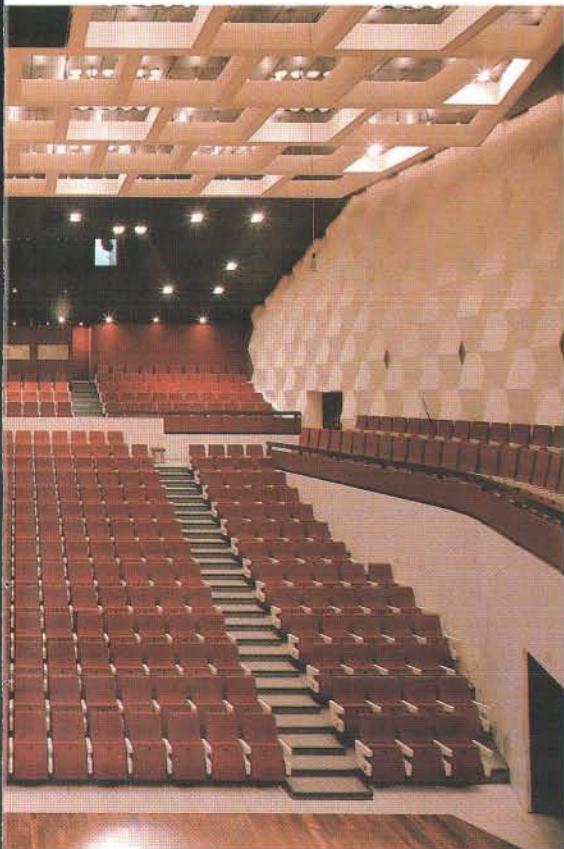
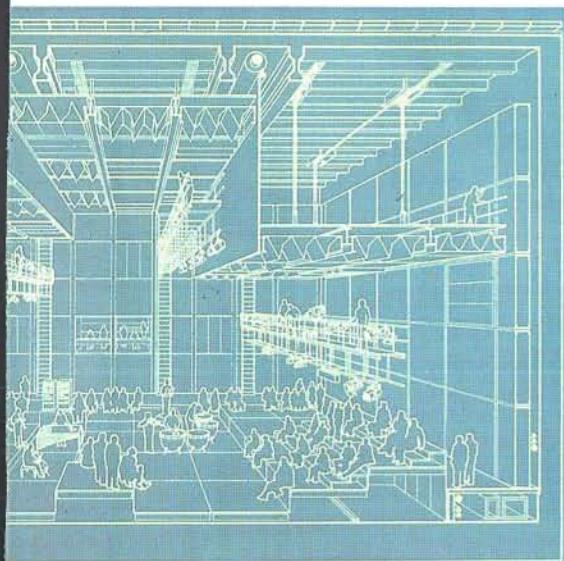
dat stoelen en de daarop gezeten mensen geluid absorberen, maakt men in dit geval dankbaar gebruik.

Naast verhouding tussen direct geluid en galm is ook de *signaal-ruisverhouding* van belang: ook achterin de zaal moet het gesprokene voldoende sterk zijn ten opzichte van het achtergrondgeluid. Anders zou de spreker niet meer de aandacht van het publiek bij de voordracht kunnen houden. Aan alle eisen is zonder elektronische hulpmiddelen nauwelijks te voldoen. In vrijwel iedere spreekzaal van enige omvang behoort de public-adressinstallatie daarom tot de noodzakelijke inventaris.

Eigenlijk zijn de antieke openluchttheaters de enige spreekzalen die zonder hulpmiddelen te 'bespelen' zijn. De amfitheatrische opbouw geeft iedere luisterraar een goede zichtlijn en dus optimaal direct geluid, dat meestal nog versterkt wordt door een klankwand achter het podium. De afwezigheid van een dak voor komt dat er een galmveld van enige betekenis ontstaat. Zeker in de oudheid zal het niveau van het achtergrondgeluid voldoende laag geweest zijn om de signaal-ruisverhouding voldoende groot te houden. Dat dergelijke ruimten akoestisch ook geschikt zouden zijn voor muziek is echter een – helaas – hardnekkige misvatting: voor goede muziekperceptie is galm nodig.

10



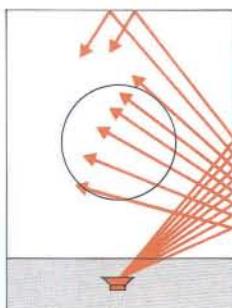


### Een schoenendoos vol muziek

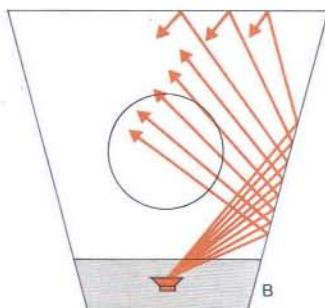
De kritische luisterraar in een concertzaal stelt, meestal zonder het te weten, complexe akoestische eisen. In de eerste plaats verlangt hij of zij een goede muziekverstaanbaarheid: details van het notenbeeld moeten duidelijk hoorbaar zijn. Om dit te bereiken is, evenals in spreekzalen, een voldoende hoeveelheid direct geluid nodig. Het is in de klassieke muziekpraktijk niet gebruikelijk om instrumenten elektronisch te versterken. Daarom moet goed zicht op het podium garant staan voor voldoende direct geluid. Wanneer een zaal een vlakke vloer heeft, kunnen zichtlijnen alsnog worden gerealiseerd door de orkestleden op verschillende niveau's op het podium te plaatsen.

In de tweede plaats wensen de luisterraars een ruimtelijk geluid. De vroege reflecties, met name die tegen de zijwanden, moeten zorgen voor een voldoende duidelijke, doorzichtige en ruimtelijke waarneming door de luisterraar. Dit betekent dat de zijwanden zich niet te ver van de luisterraar mogen bevinden; de zaal mag dus niet al te breed zijn. Toehoorders in het midden van de zaal zijn het verste van de wanden verwijderd en verdienen daarom, akoestisch gezien, speciale aandacht. In een rechthoekige zaal wordt deze categorie beter van vroege, van de zijkant afkomende reflecties bediend dan in een zaal met een uitwaaiende plattegrond (afb. 11). Een zeshoek, als in de Rotterdamse Doelen, biedt een goede tussenoplossing. Een bijkomende voorwaarde voor een volle klank is dat de wanden en het plafond de reflecties niet domweg weerkaatsen, maar ze verstrooien; ze moeten daartoe enig reliëf bezitten.

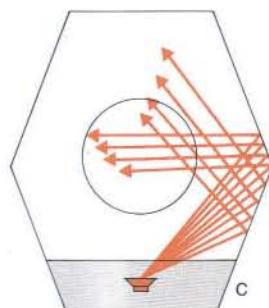
Anders dan in spreekzalen moeten er in een muziekzaal ook late reflecties zijn die te zamen voor voldoende galm zorgen. De galm geeft aan de muziek de nodige warmte en helderheid, verbindt de opeenvolgende klanken op een vloeiende manier en laat slotakkoorden geleidelijk uitklinken. Voor jazz en kamermuziek is een nagalmtijd van rond 1,2 seconden gewenst; voor symfonische muziek is een waarde rond 2,0 seconden optimaal. Volgens de nagalmtijdformule van Kosten vereisen deze waarden een zaalvolume van  $6 \text{ m}^3$  respectievelijk  $10 \text{ m}^3$  per persoon, in een zaal met akoestisch harde wanden en plafond. Bij deze berekening wordt uitgegaan van een volledig



A



B



C

11

bezette zaal. Om de nagalm tijd niet al te zeer afhankelijk te maken van de opkomst van het publiek plaatst men stoelen waarvan de geluidsabsorptie ongeveer overeenkomt met die van een gekleed persoon.

De aanwezigheid van galm komt ook de musici ten goede: zij horen dat de zaal hun spel 'ondersteunt'. Klankwanden rond het orkest en reflecterende panelen erboven zijn dikwijls nodig om de voor goed samenspel vereiste vroege reflecties te verkrijgen.

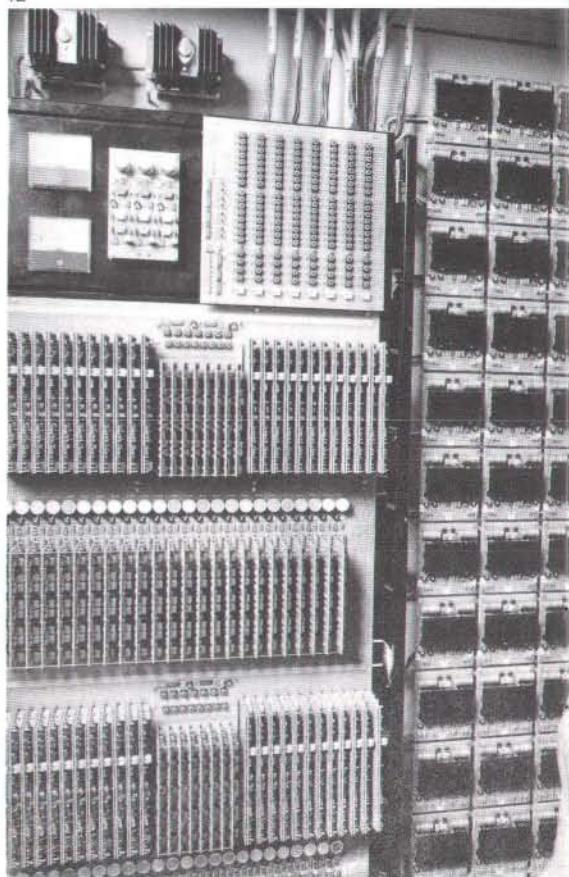
### Variabele akoestiek

Sommige grote steden kunnen het zich permitteren om een concertzaal, een schouwburg, een operatheater en een balletzaal te exploiteren. Kleinere gemeenten moeten het om economische redenen doen met één multi-functionele zaal waarin alle culturele activiteiten plaatsvinden. Veelal wordt in zo'n zaal gezocht naar een akoestisch compromis: er worden condities geschapen waarin hooguit één type uitvoering optimaal klinkt, en de overige matig of zelfs slecht. Men denke aan de vele theaters in kleinere steden met een capaciteit van 500 à 1000 bezoekers, waarin de spraakverstaanbaarheid tijdens toneeluitvoeringen vaak redelijk is. De klachten zijn echter niet van de lucht wanneer er een orkest speelt. Een groot deel van de geproduceerde muziek verdwijnt in de toneeltoren boven het podium en het geluid dat wel de zaal bereikt klinkt dof en droog vanwege een te korte nagalm tijd.

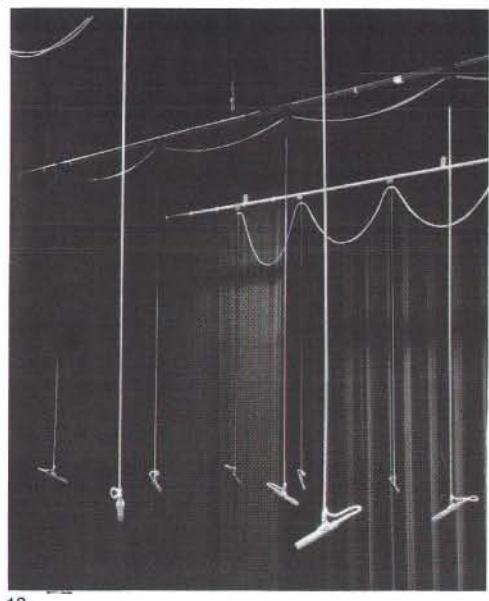
Een betere – maar ook iets duurdere – oplossing is het realiseren van *variabele akoestiek*, waardoor de condities aan de zaalfunctie worden aangepast. Dit kan via bouwkundige voorzieningen worden gedaan. De toneeltoren

11. Van de zijkant afkomstige reflecties die borg staan voor een 'ruimtelijk' geluid zijn inzalen met een rechthoekige plattegrond zeer gunstig (a), in waaiervormige zalen ongunstig (b) en in zeshoekige zalen gunstig (c).

12



12. De kast met reflectiesimulatie-eenheden vormt het hart van Acoustic Control Systems TMACS. Het Cultureel Centrum Winterswijk had de wereldprimeur van het commercieel gebruik van TMACS.



13



14

13, 14. Met microfoons en in wanden en plafond verwerkte luidsprekers zorgt het TMACS ervoor, dat nu ook muzikale uitvoeringen welluidend klinken in Winterswijk, waar voorheen alleen toneelvoorstellingen tot hun recht kwamen.

kan bijvoorbeeld bij muziekuitvoeringen worden afgesloten door een orkestnis. Verder kan de nagalmtijd worden gevarieerd door verschuifbare plafondpanelen aan te brengen en gordijnen op te hangen. Dikwijls zijn zulke voorzieningen echter nogal gebruikersonvriendelijk – opbouw en afbraak van een orkestnis kost al gauw een mandag – terwijl het akoestisch effect vaak marginaal is.

Een betere aanpak is de toepassing van elektro-akoestische hulpmiddelen, waarbij het geluid door microfoons wordt geregistreerd, en na bewerking door luidsprekers wordt weergegeven. De inbouw van luidsprekers is vaak minder ingrijpend dan het maken van een variabel plafond. De bediening van een elektro-akoestisch systeem geschiedt met eenvoudige schakelaars. Een voorwaarde voor succesvol gebruik en waardering door het publiek is natuurlijk wel dat het geluid ‘natuurlijk’ klinkt. Eerder werd al aangegeven hoe op deze manier in een galmende of lawaaiige omgeving spraak kan worden versterkt.

Wanneer men echter elektronische regeling wil toepassen om een ‘droge’ zaal geschikt te maken voor muziek, is het uitgangspunt heel anders. De installatie moet het directe geluid nu ongemoeid laten, terwijl er reflecties en galm moeten worden opgewekt zoals die in een goede concertzaal door wanden en plafond worden gegenereerd. In de afgelopen decennia zijn diverse systemen ontwikkeld die dit resultaat beogen. Veel daarvan zijn gebaseerd op akoestische terugkoppeling: het door de microfoons opgenomen geluid wordt, na bewerking, door luidsprekers niet alleen naar het publiek afgestaald, maar ook weer naar de microfoons, waardoor een nieuwe reflectie wordt gegenereerd. De terugkoppelingscyclus wordt door één signaal uiteraard enkele keren doorlopen. Dit systeem is daardoor nogal gevoelig voor instabiliteit, waardoor kleuring van het geluid kan ontstaan. Dit is strijdig met de eis van natuurlijkheid. Beter is het om de opeenvolgende reflecties door elektronische vertraging op te wekken en akoestische terugkoppeling te vermijden.

Een systeem dat van deze technologie gebruik maakt en bovendien zorgt voor een natuurlijk, ruimtelijk geluid, is gedurende de afgelopen jaren ontwikkeld door de TU te Delft. Hierbij ging men uit van een geniale technologische vinding van de technicus en orgelkennner

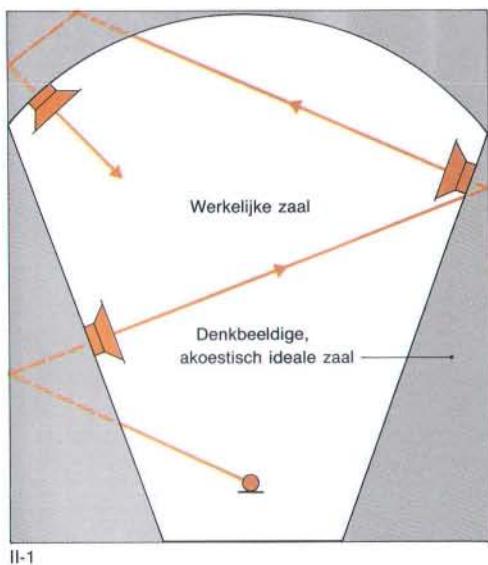
## Reflectiesimulatie door ACS

Acoustic Control Systems TMACS beoogt de reconstructie van een gewenst geluidsveld – gespecificeerd in fysische parameters als nagalmtijd, geluidsdruckniveau en energieverhoudingen tussen vroege en late energie – in een bestaande ruimte. Om het gewenste effect te bereiken wordt eerst van iedere microfoon de overdracht naar iedere luidspreker zo ingesteld, dat het geluid zich daartussen zal voortplanten als in een akoestisch ideale zaal. De instelwaarden worden vervolgens vastgelegd in een processor die de daadwerkelijke geluidsoverdracht bestuurt en is opgebouwd uit *reflectiesimulatie-eenheden*. Deze eenheden genereren met behulp van elektronische vertragingen één reflectie tussen iedere microfoon en iedere luidspreker (afb. II-2).

Afhankelijk van de gewenste nagalmtijd, en dus het aantal te genereren reflecties, wordt een aantal reflectiesimulatie-eenheden in serie geschakeld. Het is belangrijk te bedenken dat op ieder punt in de zaal het galmveld wordt opgebouwd uit de bijdragen van alle luidsprekers; de luidsprekers zijn voor de luisteraar op het gehoor niet individueel te lokaliseren. Na een inregelprocedure, waarbij nagalmtijden en geluidsdruckniveau's per oktaafband zijn te variëren, worden de ACS-instellingen die optimaal blijken voor verschillende zaalfuncties, in een geheugen opgeslagen waaruit ze met een druk-op-de-knop zijn terug te roepen.

II-1. Het principe van akoestische holografie: in een bestaande ruimte boost men het geluidsveld na dat bij een akoestisch ideale zaal hoort.

II-2. Bij realisering van dit principe wordt geluid door vertragingseenheden en filters van elke microfoon naar elke luidspreker overgedragen.

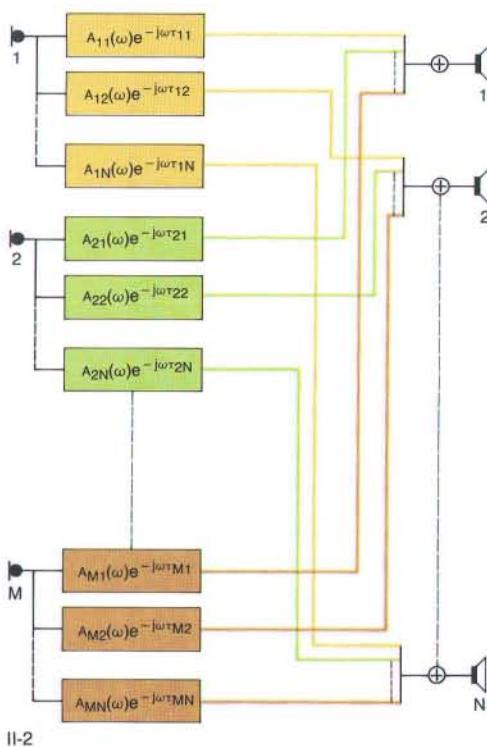


II-1

15. Wil TMACS met succes worden toegepast dan moeten de wanden zoveel geluid kunnen absorberen, dat zich geen overdaadige 'natuurlijke' reflecties voordoen die de gecreëerde geluidspatronen verstoren.



## INTERMEZZO II



Arie Griffioen te Garderen. Het systeem staat bekend onder de naam Acoustic Control Systems™ACS (Intermezzo II) en stoeft op het principe van *akoestische holografie*: het geluidsveld in een akoestisch goede zaal wordt, met behoud van eigenschappen in tijd en ruimte, gereconstrueerd in een zaal die voorheen akoestische defecten vertoonde (afb. II.1). Dit systeem biedt een fundamentele oplossing van de akoestische problematiek in multifunctionele zalen, omdat het geluidsveld met het juiste aantal microfoons en luidsprekers op de juiste plaats optimaal aan verschillende zaalfuncties kan worden aangepast.

### De toekomst

De opkomst van natuurlijk klinkende elektro-akoestische systemen waarmee de akoestiek van een ruimte kan worden gevarieerd en ge-

optimaliseerd, biedt vele nieuwe toepassingsmogelijkheden in de zaalakoestiek. Doordat op een gecontroleerde manier fysische parameters kunnen worden gewijzigd, kan het verband tussen fysische meetgegevens en de ervaringen van de luisterraar diepgaand worden onderzocht in natuurlijke omstandigheden. De proefpersoon kan voortaan in een met ACS uitgeruste zaal plaatsnemen, in plaats van in een benauwde luistercabine.

In de bouwpraktijk krijgt de architect een grotere vrijheid bij het maken van zijn ontwerp. De akoesticus hoeft geen compromissen meer te sluiten, maar kan de zaal geschikt maken voor elke toepassing na, als uitgangspunt, een optimale spreekzaal te hebben gerealiseerd. En de toneelbediende? Voor hem geen gesjouw en gehijs meer met reflectiematerialen: na inzage van het programma vervult hij ieders akoestische wensen door simpelweg de knop voor cabaret, opera, of symfonie in te drukken.

### Literatuur

- Berkhout AJ. A holographic approach to acoustic control. Journal of the Audio Engineering Society 1988; 36, nr 12.
- Berkhout AJ, Vries D de, Boone MM. A new method to acquire impulse responses in concert halls. Journal of the Acoustical Society of America 1988; 68, nr 1: pag 179-183.
- Pierce JR. Klank en Muziek. Maastricht: Natuur en Techniek, 1986.

### Bronvermelding illustraties

- Adviesbureau Peutz, Nijmegen: 4, 8, 9
- Birch Wood Acoustics, Rotterdam: 15
- Bouwwereld/Misset, Doetinchem: 12, 13, 14
- Concertgebouw, Amsterdam: 6
- Doelen, Rotterdam: pag 714-715, 10
- Steef Croonen, Beek bij Nijmegen: 7
- Pierce J.R.; Klank en Muziek, Maastricht: 2, 5
- De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur in samenwerking met P. Vogel.

# **ANALYSE & KATALYSE**

**INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING**

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

## **JE KUNT GEEN ONTDEKKINGEN MEER DOEN IN JE SCHUURTJE**

EEN GESPEK MET DE Tachtigjarige HENDRIK CASIMIR

JOOST VAN KASTEREN

"Zelf zou ik ook een 'security risk' zijn geweest", zegt prof dr H.B.G. Casimir, natuurkundige en voormalig directeur van het Philips Natlab. "Als je hele leven bestaat uit dingen overdragen, communiceren, dan is het erg moeilijk om dat om te draaien, omdat de militaire veiligheid dat vereist. Bovendien ben ik behoorlijk slordig met allerlei papieren."

Het 'veiligheidsrisico' is nog niets verleerd van zijn gave voor overdracht van informatie en gedachten. In de tuin van zijn huis, verscholen in de bossen rond Heeze (N-Br), spreken we met hem over de spiraal van wetenschap en techniek; een spiraal die ook in zijn eigen leven een grote rol speelde. Van een pure wetenschapsman werd hij medewerker en later directeur van Philips Natlab. Van 1956 tot zijn pensionering in 1972 was hij tenslotte lid van de Raad van Bestuur.

De term 'security risk' duikt op aan het eind van het gesprek als we het hebben over de 'Oppenheimer hearings', die gehouden werden in het begin van de jaren vijftig. In die periode van McCarthyisme en communistenjacht werd de betrouwbaarheid van

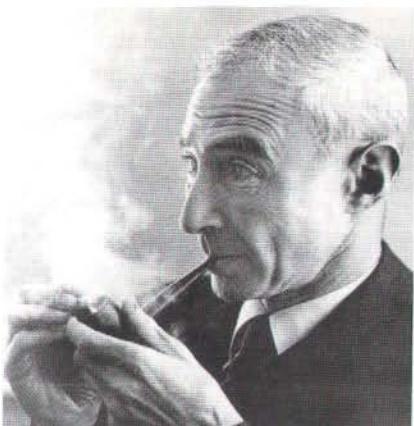
Robert Oppenheimer ter discussie gesteld.

Met instemming citeert de tachtigjarige Casimir een van de getuigen bij de hearings, die zich afvraagt of de man die er verantwoordelijk voor is dat de Verenigde Staten kan beschikken over een heel arsenaal van atoomwapens, op deze wijze terecht moet staan. "Wat meer kunt u van zo'n man verlangen dan hij heeft gedaan", vraagt de betreffende getuige, de natuurkundige Isaac Rabi, "moet hij soms een zeemeermin uitvinden?" Aanleiding voor het onderwerp 'security risks' is de vraag mijnerzijds in hoeverre fysici zich schuldig zouden moeten voelen over de atoombom en vooral over de gevolgen ervan, in eerste instantie het gebruik in Hiroshima en Nagasaki in 1945; later de wapenwedloop.

Casimir: "Als er werkelijk een atoomoorlog zou uitbreken dan zijn de gevolgen zo verschrikkelijk. Dat is bijna onvoorstelbaar. Misschien dat niet alle leven van de aarde verdwijnt, maar veel zal er niet overblijven. Ik heb het gevoel dat de politieke leiders nu iets beginnen te begrijpen van de vernietigingskracht van atoomwapens."



"Aan de andere kant heb je natuurlijk nog altijd types als Khadaffi of bepaalde terroristische groeperingen. Als dergelijke groepen werkelijk over een atombom zouden beschikken dan weet ik niet of ze hem ook niet zouden gebruiken. Je kunt je heel wel een scenario voorstellen waarbij een stad als Londen of Parijs in gijzeling wordt gehou-



**Robert Oppenheimer** (1904-1967), vader van de atoombom (Foto: US Energy R&D Adm.)

**Casimir (linksonder) in gesprek met prof A. Rörsch (Foto: Paul Mellaart)**



den met behulp van een atoomwapen. Dat vind ik een bijzonder verontrustend scenario."

"Als fysicus voel je je toch enigszins schuldig. Of dat te recht is, weet ik niet. De fysici die in Los Alamos aan de ontwikkeling van de atoombom hebben gewerkt, deden dat uit zeer respectabele motieven. De grote angst was dat de Na-

zi's eerder de beschikking zouden hebben over de 'bom'. Als zij deze tegen Groot-Brittannië zouden hebben ingezet, dan was een Nazi-maatschappij over de wereld niet denkbeeldig gebleven. Dat de Nazi's nog lang zo ver niet waren, konden de geallieerden niet weten."

"Waar je wel vraagtekens bij kunt zetten is of de atoombom ook werkelijk gebruikt moet worden. Had je niet kunnen volstaan met een demonstratie, ergens in de woestijn? Ik weet het niet. Hiroshima en Nagasaki hebben de wereld bewust gemaakt van de geweldige vernietigingskracht van het atoomwapen; op die manier hebben ze ook een bijdrage geleverd aan het voorkomen van het gebruik ervan."

"Van de kant van de fysici is wel aangedrongen op het gebruik van het atoomwapen om de wereldvrede te garanderen. Niels Bohr heeft inderdaad nog een brief naar de Verenigde Naties geschreven waarin hij waarschuwt voor een wapenwedloop tussen de Verenigde Staten en de Sovjetunie. Hij pleitte al in 1944 bij Roosevelt voor samenwerking tussen de supermachten. Enigszins naïef, kun je ach-

teraf zeggen. Hoewel hij wel degelijk gelijk heeft gehad met zijn voorspelling over een wapenwedloop."

"Als je je als fysicus al schuldig voelt, dan moet je je ook realiseren, dat je de ontwikkeling op een gegeven moment niet meer in de hand hebt. Kun je er dan nog verantwoordelijk voor zijn? Ratioeel zeg ik daar nee op, maar bij veel fysici blijft er toch altijd wat knagen."

### Supergeleiding

---

De ontwikkeling van de atoombom is een voorbeeld van wat Casimir aanduidt als de spiraal van wetenschap en technologie. Technologische ontwikkeling is altijd gebaseerd op wetenschappelijk inzicht. Daarbij gaat het echter meestal niet om het meest verreikende inzicht dat de wetenschap te bieden heeft. Technologie loopt, aldus Casimir in zijn boek *Haphazard Reality*, altijd een jaar of tien, soms twintig achter de wetenschap aan. Anderzijds maakt wetenschap wel altijd gebruik van de meest geavanceerde technologie voor het verleggen van de grenzen. Zonder dergelijke technologie zou er vrijwel geen fundamenteel onderzoek mogelijk zijn.

Casimir: "De spiraal van wetenschap en technologie zie je vooral, wanneer je het hebt over totaal nieuwe verschijnselen. Er wordt in de wetenschap een hele hoop tweedronde-onderzoek gedaan. Nog steeds fundamenteel onderzoek, maar toch vooral bestaand uit het invullen van de grote doorbraken. De resultaten daarvan worden veel sneller opgenomen in de technologie."

Als voorbeeld noemt hij de supergeleiding. Deze werd al in 1913 ontdekt door Kammerlingh Onnes, maar het heeft

lang geduurd voor men er iets mee kon doen. Casimir: "Enkele jaren geleden werd er opeens een verrassende groep nieuwe supergeleidende materialen ontdekt. Daar heeft de industrie zich meteen en massaal op gestort. Tot nu toe vallen de resultaten wat tegen, maar ik hoor, maar de belangstelling van de kant van de technologie was er wel. In 1913 was vloeibaar helium nog iets heel extreems, maar toen er een aanvulling kwam in de vorm van supergeleiding bij hogere temperaturen, ging het heel snel."

*Algemeen wordt verondersteld dat de weg tussen ontdekking en toepassing steeds korter wordt. U bent het daar niet mee eens; de afstand tussen laboratoriumtafel en produktiehal wordt juist groter, zegt u ergens in uw boek.*

Casimir: "Als men zegt dat de tijd tussen fundamentele doorbraak en toepassing korter wordt, dan slaat dat denk ik vooral op de fundamentele research in tweede ronde. Als die ontwikkeling eenmaal in gang is gezet, zoals bij supergeleiding in keramische materialen, dan kan het heel snel gaan. De industrie beschikt tegenwoordig over enorm veel geld en mankracht en is dus goed toegerust om in korte tijd een ontwikkeling enorm te versnellen."

"Voor een ontdekking in die fase komt, kan er veel tijd overheengaan. De transistor bijvoorbeeld is kort na de oorlog ontdekt. Het heeft echter nog heel lang geduurd voor de radiobuizen waren verdronken door de transistor, hoewel er grote behoefte was aan een alternatief voor de kwetsbare buizen. Ondanks de beschikbaarheid van transistoren nam in 1958 de productie van radiobuizen nog steeds toe."

**De jonge Casimir aan de wandel met zijn leermeester Niels Bohr (Foto: Niels Bohr Instituut)**

**De eerste transistor werd in 1948 gemaakt (Foto: Bell Labs)**



"Bij geïntegreerde schakelingen is het daarentegen wel heel snel gegaan. Toen die eenmaal ontdekt waren was het lot van transistoren en de nog resterende buizen bezegeld. Maar alweer gaat het bij geïntegreerde schakelingen niet om een fundamentele doorbraak; ze zijn gebaseerd op het principe van de halfgeleider."

#### Opporen

---

*U schetst een beeld waarin wetenschap en technologie elkaar opporen. Wat is de invloed van de maatschappij op die ontwikkeling?*

Casimir: "Je kunt de rol van de samenleving niet buiten beschouwing laten. De samenleving beïnvloedt natuurlijk de ontwikkelingen. Met name de ontwikkeling van technologie wordt voor een deel bepaald door de maatschappij; er zit een terugkoppelus in naar het economisch-industrieel systeem. Iemand van IBM zei me eens dat IBM technisch heus niet beter is dan Siemens of Philips of welke onderneming dan ook. Dat ze zo groot is geworden in computers was, zo zei hij, vooral te danken aan de druk van grote klanten, banken en verzekeringen, die steeds grotere hoeveelhe-

den gegevens in steeds kortere tijd wilden verwerken. Daar zie je die terugkoppelus."

"De invloed van de maatschappij op de wetenschap is veel minder rechtstreeks. Het idee dat de ontwikkelingen in de wetenschap worden gestuurd door grote bedrijven, iets dat je tot voor kort nog wel eens hoorde, klopt niet. Alleen al omdat je niet twintig, dertig jaar vooruit de technologische betekenis van wetenschappelijke doorbraken kunt evalueren. Eventuele toepassingen zijn in dat stadium nog lang niet aan de orde. Het is wel zo dat die wetenschappelijke ontwikkelingen beïnvloed worden door de technische mogelijkheden. In de jaren dertig kreeg je de ontwikkeling van de radio en als uitvloeisel daarvan de ontwikkeling van goedkope radiobuizen. Die zijn weer gebruikt in de kernfysica."

*De soort wetenschap waar u het over heeft, bestaat die eigenlijk nog wel? Alles is toch gericht op mogelijke toepassingen tegenwoordig?*

Casimir: "Welzeker bestaat die nog. De astronomie bijvoorbeeld. Ik zie nog niet direct toepassingen voor de kennis die men daar opdoet over supernova's, zwarte ga-

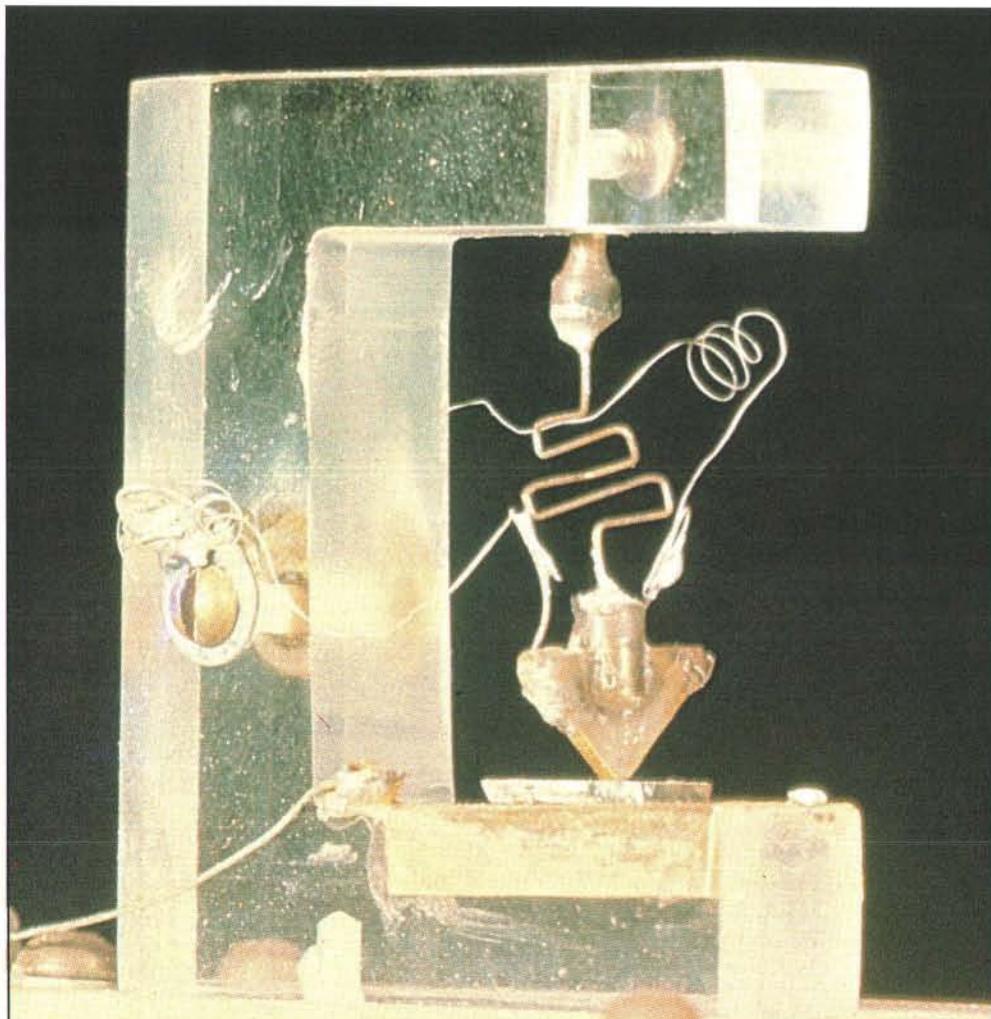
ten en neutronensterren. Een ander voorbeeld is de fysica van deeltjes en velden, de hoge-energiefysica. Daar zoekt men naar deeltjes kleiner dan de atoomkern, kleiner dan protonen zelfs. Dat is ongetwijfeld fundamenteel onderzoek; directe toepassingen zijn op dit moment zeker niet zichtbaar."

*Toch wordt zulk onderzoek vaak maatschappelijk verantwoord door te wijzen op de technologische spin-off ervan.*

Casimir: "De methoden en technieken die men gebruikt, kunnen ook elders worden toegepast ja. Maar om dat nu als motief voor dergelijk onderzoek te geven, gaat me wat ver. Dat doet me denken aan de Amerikaan die, reagerend op iemand die zei dat het maanprogramma een nieuw type batterij had opgeleverd, zei dat het brengen van een mens op de maan 'is a hell of a way to develop a new battery'."

"Naast astronomie en hoge-

energiefysica kun je ook nog denken aan de fysica van zeer lage temperaturen in de orde van duizendste of tienduizendste Kelvin. Vloeibaar helium is tegenwoordig al heel gewoon – je kunt het nog net niet bij de melkboer halen – maar voor het onderzoek bij die hele lage temperaturen zie ik nog niet direct allerlei toepassingen. Fundamenteel van aard is ook de discussie over de interpretatie van de quantumtheorie, de oude strijd tussen Niels Bohr en Albert



Einstein. Einstein heeft de statistische benadering van de quantumtheorie nooit kunnen accepteren en heeft bijna een mensenleven lang gezocht naar weerleggingen ervan. Tot op heden is de, laten we zeggen, Kopenhaagse benadering van Bohr zeer vruchtbare geweest en hebben de weerleggingen van Einstein eigenlijk nog niets opgeleverd. De experimenten die zijn gedaan, zijn allemaal in overeenstemming met de statistische benadering. Toch zijn er nog steeds fysici die menen dat de quantumtheorie niet het laatste woord is. Die discussie is iets waarover de technici zich voorlopig geen zorgen zullen maken, zolang hun halfgeleiders doen wat ze verondersteld worden te doen."

*Er zijn dus nog steeds onderdelen in de fysica die we fundamenteel kunnen noemen. Zijn dat reservaten met de fundamentele onderzoeker als bedreigde diersoort? De druk om te werken aan toepassingen lijkt steeds groter te worden.*

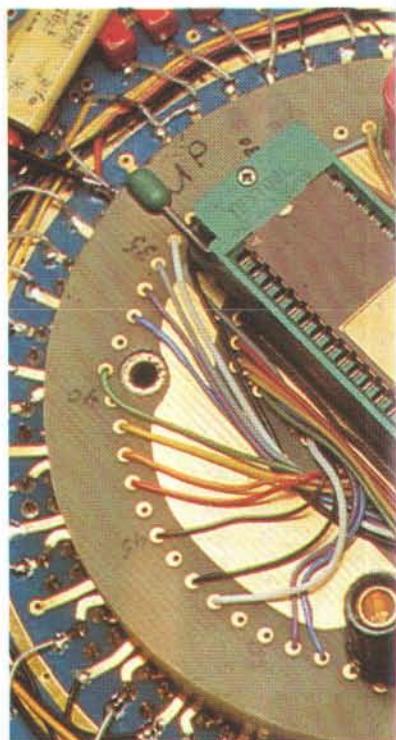
Casimir: "Ik denk het niet, ik hoop ook van niet. Instituten worden natuurlijk geconfronteerd met inkrimping van hun budget. Een hoogleraar komt tegenwoordig nauwelijks aan onderzoek toe, omdat zijn onderwijs- en vergadertaak al meer dan tien uur per dag vereist. Vroeger verkeerde je als onderzoeker in een beschermde omgeving en met name aan de universiteiten is dat een stuk minder geworden. Toch zijn er nog steeds posities waar men in relatieve vrijheid kan werken. Vrijheid ook in de zin dat er geld is voor dergelijk soort onderzoek. Een tendens is wel dat je voor het doen van fundamenteel onderzoek zo verschrikkelijk veel geld en mensen nodig hebt tegenwoordig. In de ja-

ren dertig kon je vrijwel in je eentje dingen ontdekken op het gebied van de kernfysica. Een man als Röntgen kon aan het eind van de vorige eeuw bijna helemaal alleen in relatief korte tijd de eigenschappen van röntgenstraling beschrijven. Dat kan vrijwel niet meer. De hoge-energiefysica vraagt veelvoud aan mensen en hulpmiddelen vergeleken met de kernfysica in de jaren dertig."

### Orkest

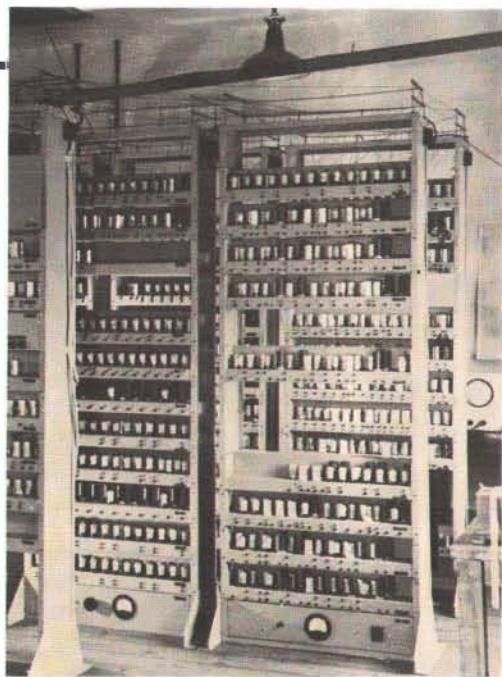
---

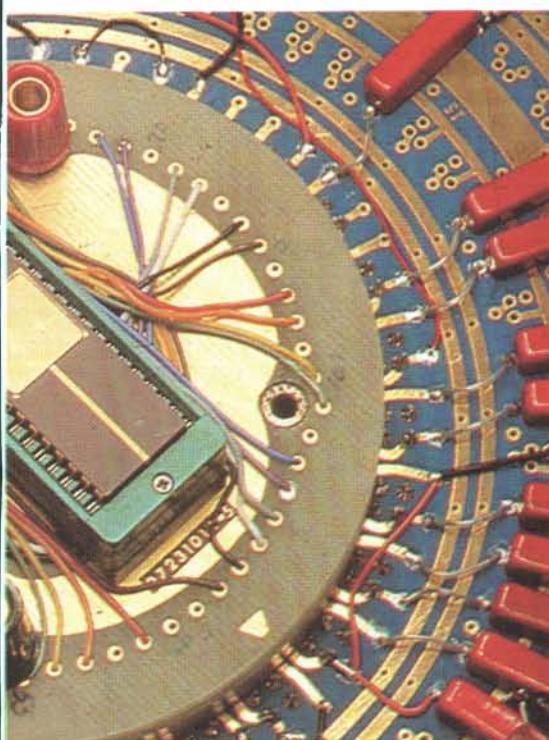
*Heeft dat ook zijn weerslag op de research zoals die plaatsvindt in de industrie? Het Natlab in uw tijd is wel omschreven als een jazz-orkest; tegenwoordig zou het veel meer een symfonie-orkest zijn, met weinig of geen ruimte voor individuele solo's.* Casimir: "Het gaat inderdaad de kant op van een symfonieorkest. In de periode dat ik



---

**De EDSAC-computer uit 1949 bevatte 3500 radio-buizen. Het geheugen was 512 woorden (Foto: University of Cambridge)**





Een hedendaagse chip is met behuizing en al slechts enkele cm lang (Foto: Bell Labs)

---

### Een hoogleraar komt tegenwoordig nauwelijks meer aan wetenschappelijk onderzoek toe

---

directeur was, waren bepaalde gebieden gestructureerd; voor het overige was de atmosfeer tamelijk vrij. Nu gaat het meer de kant op van een laboratorium dat in zijn algemene opzet gestructureerd is, met hier en daar hoecken die een wat grotere vrijheid genieten. Als ik het goed begrepen heb zijn er dat nog vrij veel; circa dertig procent van het onderzoek is tamelijk vrij. Uit het symfonie-orkest worden dus nog steeds kleine combo's gevormd."

"Ik vraag me toch af of een researchlab wel kan functioneren als een symfonie-orkest. Vermoedelijk zijn dat de

zorgen die komen met de ouderdom. Aan de andere kant is toch duidelijk vastgelegd dat een grote groep onderzoekers bij het Natlab nog steeds het eigen programma kan bepalen. Als zij erin slagen om te voorkomen dat ze worden uitgebuit — dat wil zeggen dat ze zich niet laten inschakelen voor meer gestructureerd werk — dan hoeven we geloof ik toch niet al te somber te zijn."

*De druk om resultaten te boeken neemt toe. Research is een wapen in de concurrentiestrijd geworden.*

Casimir: "Dat is waar, maar

toch niet het hele verhaal, denk ik. Ook de ontwikkeling van het vak maakt een groot-schalige gestructureerde aanpak noodzakelijk. Het ontdekken van een transistor en het ontwikkelen ervan, is van een andere orde dan het ontwerpen van een megachip. Naarmate de rol van technologische hulpmiddelen in het onderzoek groter wordt, zul je meer moeten structureren. De mogelijkheden tot improviseren worden kleiner; je kunt geen ontdekkingen meer doen in je schuurtje."

*Is dat op den duur het punt waar de wetenschap-en-technologie-spiraal tot stilstand komt? Een punt waarop er zoveel geld nodig is voor het doen van een ontdekking dat het onbetaalbaar is geworden? Of dat het onderzoek zodanig gestructureerd is, dat echte ontdekkingen niet meer worden gezien?*

Casimir: "Er kan een zekere stagnatie optreden als er te veel mensen en hulpmiddelen noodzakelijk zijn. Aan de andere kant zie je dat men ook weer andere richtingen inslaat. Voor een revolutie in de schilderkunst heb je ook geen hele nieuwe verfstoffen en kwasten nodig."

WAAROM ER GEEN

# ONTNUCHTERINGSPIL

KOMT

*Heeft u nog een fles whisky,  
ik heb toch een pil op zak*

SIMON ROZENDAAL

Wat is er, althans op papier, aantrekkelijker voor een farmaceutisch bedrijf, dan een pil die dronkenschap kan neutraliseren? Niet alleen lijkt dit een gegarandeerd commercieel succes, maar ook heeft het grote waarden voor de volksgezondheid. Immers, gedronken wordt er toch en is het niet beter wanneer iemand die flink gedronken heeft nuchter (zij het met farmaceutische steun) achter het stuur stapt dan ladderzat? Wat is er dus tegen om zo'n pil te ontwikkelen?

Toch heeft Hoffmann La Roche er bewust van afgezien een laboratoriumvondst van een zogeheten alcohol-antagonist – zeg maar een ontnuchteringspil – te commercialiseren. Een interessant aspect hiervan is dat het een van de weinige voorbeelden is waar rekensommetjes het verliezen van maatschappelijke misschien zelfs wel ethische overwegingen. En het is des te interessanter omdat het om de farmaceutische industrie gaat – een bedrijfstak die in het algemeen niet aarzelt om geneesmiddelen die in land A verboden zijn in land B op de markt te brengen, als het maar geld oplevert.

Het wordt nog spannender als men zich realiseert dat het om Hoffmann La Roche gaat, het bedrijf dat met de ontdekking van valium in de jaren vijftig de groep benzodiazepi-

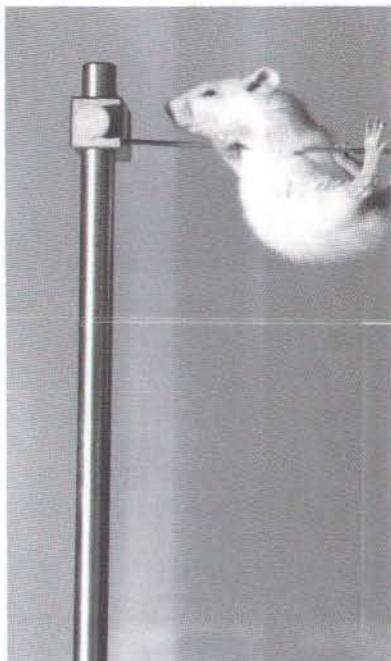
nen ontsloot. En dat is inmiddels een uiterst omstreden groep geneesmiddelen geworden. Voor de één ideaal omdat ze rust geven en angstgevoelens bestrijden, maar voor de ander een verschrikking omdat ze veel problemen verslueren: 'Wordt u geslagen door uw man mevrouw? Och, neem toch een tranquilizer.'

Vooral sinds de Amerikaanse activist Ralph Nader in 1975 met de stelling kwam dat anderhalf miljoen mensen in Amerika alleen al, aan valium waren verslaafd, staat het middel in een kwade reuk. Feit is in elk geval dat heel veel mensen slaap- en kalmeringsmiddelen gebruiken. Bij een onderzoek van de Rotterdamse GG&GD bijvoorbeeld bleek zeven procent van de Rotterdammers tussen de 16 en 69 jaar dit te doen: meer naarmate men ouder, vrouw en lager opgeleid was overgens. Voor Roche is dat dus uiterst interessant: het bedrijf heeft bijvoorbeeld de helft van de Nederlandse slaapmiddelenmarkt in handen en valium is het meest geslikte geneesmiddel ter wereld geworden.

## Ro 15-4513

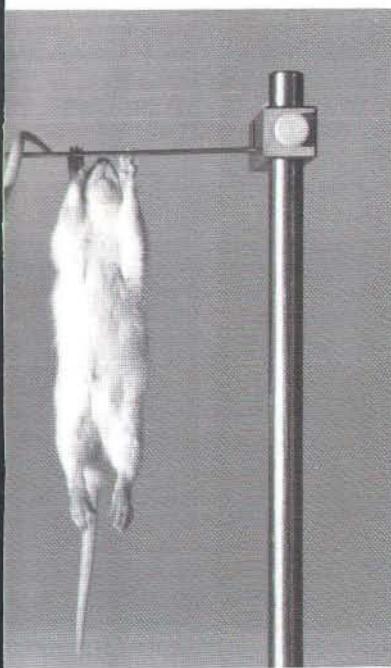
---

De geschiedenis van de mislukte anti-alcoholpil begint in 1980. De chemicus Walter Hunkeler loopt dan tegen een



Dronken rat met  
(links) en zonder ont-  
nuchteringspil (Foto:  
Roche)

nieuw benzodiazepine op. Dat is overigens minder toevallig dan het lijkt, want de Zwitserse multinational heeft sinds valium en librium, die in het begin van de jaren zestig op de markt kwamen, de hele chemische familie der benzodiazepinen uitgekamd. Daarbij zijn overigens ook tal van interessante spin-offs naar voren gekomen. Bijvoorbeeld de ontdekking uit 1977 dat er in de menselijke hersenen een zogenoemde receptor zit voor dergelijke stoffen. Dat kan niet anders dan betekenen dat het menselijk lichaam zelf ook dergelijke kalmeringsmiddelen (die overigens tot nu toe niet zijn aangetoond) aanmaakt. Want waarom zou er anders zo'n receptor in de hersenen aanwezig zijn?



Maar goed, terug naar de anti-alcoholpil. Hunkeler ontdekt dat een stof die hij heel nuchter Ro 15-4513 noemt, bij ratten en muizen al in kleine hoeveelheden de werking van betrekkelijk grote hoeveelheden alcohol opheft. Dat er een relatie tussen benzodiazepinen en alcohol is, was overigens al langer bekend. Tussen veel psychofarmaca zoals barbituraten en benzodiazepinen – en eigenlijk moet ook alcohol tot deze groep geneesmiddelen worden gerekend – bestaan allerlei onderlinge versterkingen en afhankelijkheden. Dat heeft ondermeer te maken met het feit dat dergelijke stoffen op ongeveer dezelfde bindingsplaatsen in de hersenen (receptoren) aangrijpen. Nieuwe benzodiazepinen worden dan

ook standaard onderzocht op hun werking in combinatie met alcohol.

De werking van Ro 15-4513 overtrof alle verwachtingen. In 1985 rapporteren de onderzoekers, onder leiding van de farmacologen Erico Pietro Bonetti en Willy Haefely, dit op een congres in Engeland en in 1986 publiceerden ze hun bevindingen in het *British Journal of Pharmacology*. Eigenlijk is voor de onderzoekers het hoofdstuk dan al afgesloten. De bewuste stof leek wetenschappelijk fascinerend, maar dat was alles.

Dan echter komt er een lawine van publiciteit naar aanleiding van de Engelse wetenschappelijke publiekstekst. Tal van populaire Duitse en Zwitserse media storten zich op de pil die automobilisten zou moeten ontnuchteren. Ook in serieuzer tijdschriften, bijvoorbeeld het Amerikaanse *Science*, werd er op gewezen dat de ontwikkeling van een dergelijke ontnuchteringspil vele mensenlevens zou kunnen redden. Nogal wat druk is dan ook op Roche uitgeoefend om de pil te ontwikkelen.

#### Kosmetisch effect

---

Dat is echter nooit gebeurd. De substantie heft wel de werking van alcohol op, maar beïnvloedt niet de alcoholspiegel in het bloed. Ook is het niet zo dat de combinatie van alcohol plus Ro 15-4513 minder giftig is dan alcohol alleen. Het effect is bovenal kosmetisch: ratten onder invloed krijgen weer enige controle over hun lichaam terug. Dat viel in het laboratorium betrekkelijk eenvoudig te controleren. Ratten die onder invloed met hun voorpoten aan een rek werden gehangen vielen naar beneden (in tegenstelling tot nuchtere ratten).

Wanneer men de dronken ratten Ro 15-4513 gaf, bleken ze weer in staat om zich vast te klemmen. Ze hadden evenveel alcohol in hun lichaam maar die alcohol had minder effect. Dat is echter iets geheel anders dan een ontnuchteringspil. Een pil die alleen maar het effect opheft kan snel tot het gedrag leiden: 'Heeft u nog een fles whisky, ik heb toch een pil op zak.' Vooral ook omdat de werking van zo'n pil slechts tijdelijk is en de alcoholspiegel niet wordt beïnvloed, is men dan verder van huis dan wanneer die pil er niet zou zijn.

In het blad Roche Magazine waarin deze geschiedenis van de pil die er niet kwam uit de doeken wordt gedaan, is hoog opgegeven over de ethische overwegingen die aan de beslissing ten grondslag zouden liggen. Dat lijkt nogal overdreven, gezien het feit dat Roche toch zonder al te veel scrupules in het verleden de andere benzodiazepinen op de markt heeft gebracht – stoffen waarvan menig medicus zich nu afvraagt of die wel zo'n geweldige vooruitgang voor de mensheid hebben betekend.

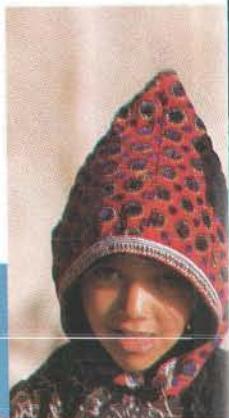
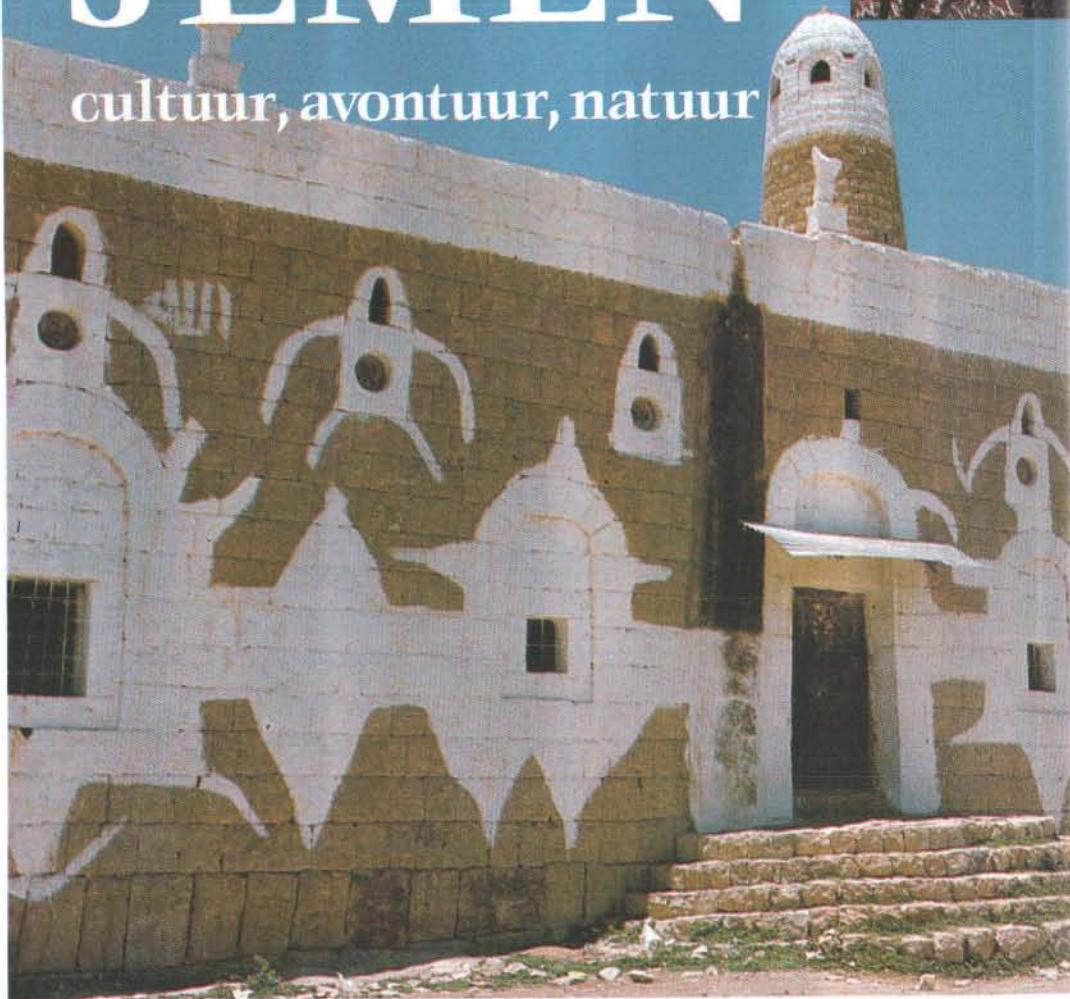
Interessant is echter dat er überhaupt met ethische overwegingen wordt geschermd – of ze kloppen of niet. Plus dat het farmacologisch toch niet zo simpel is om een middel tegen alcohol te vinden. Dat er een grote markt voor is, dat staat vast.

---

Een 14-daagse reis door de vier zones van Jemen,  
het land van de 'qat' en de koningin van Sheba

# JEMEN

cultuur, avontuur, natuur



**Yemenia**  
Yemen Airways



**اليمنية**  
الخطوط الجوية اليمنية



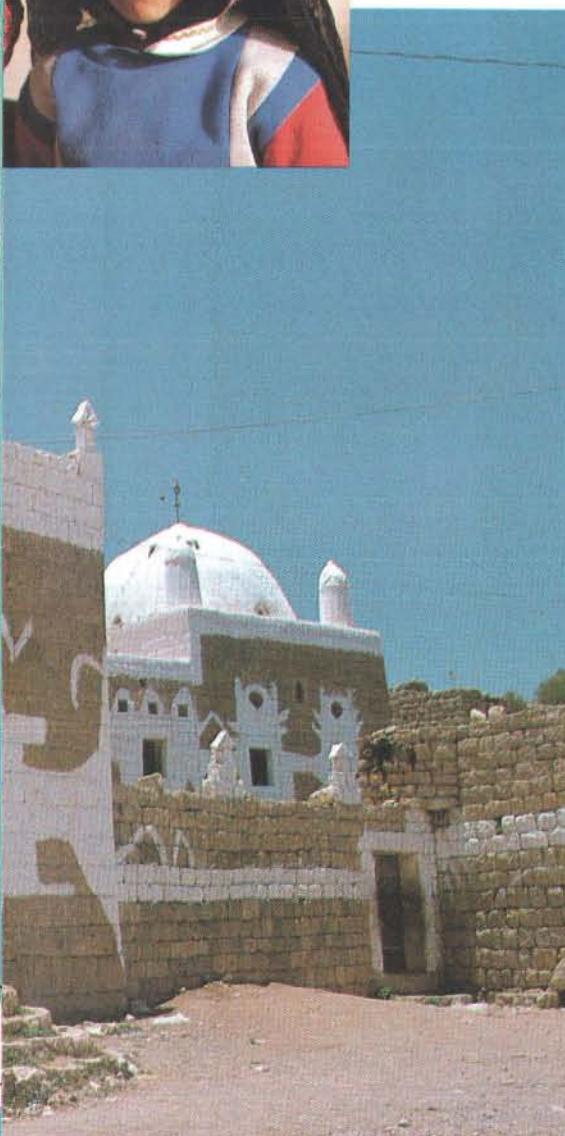
STICHTING  
MB EXCURSIES

NATUUR  
& TECHNIEK



**23 dec. 1989 t/m  
6 jan. 1990**

**12 mei t/m  
26 mei 1990**



Na onze succesvolle reizen naar Afrika, Indonesië (Bali), Peru en China nodigen wij nu de reisminnen-de lezers van Natuur en Techniek uit voor een reis naar een totaal andere en unieke wereld: de zuid-westhoek van het Arabisch schiereiland, Arabica Felix.

'Jemen moet men zien, ook al is de reis lang...' zegt een oude spreek. Jemen is niet alleen het zien, maar ook het voelen, ruiken en horen van het oude Arabië.

Doordat het honderden jaren afgesloten is geweest van de buitenwereld en nauwelijks koloniale invloeden heeft gekend, is nergens de Islamitische traditie zo 'geconserveerd' gebleven.

Onze reis start in Sana'a de hoofdstad, op 2400 meter hoogte gelegen. Een héél merkwaardige stad die diepe indruk zal maken. Vooral de gedeeltelijk ommuurde binnenstad is fascinerend. U wandelt een totaal vreemde wereld binnen. Een droom uit 1001 nacht. De torenhoge, soms 20 verdiepingen tellende huizen, zijn wonderen van architectuur met gevels die versierd zijn met wit pleisterwerk en gekleurd glas. We trekken door nauwe steegjes, langs marktjes, stalletjes, werkplaatsjes met ontelbare, hier al lang vergeten, ambachten en over schilderachtige pleintjes. De vrouwen zijn zwaar gesluierd en de mannen zijn voorzien van hun grote trots, de *djambiah* of kromdolk. Overal loven en bieden, smoezelige theehuisjes, geuren van vele kruiden.

Vanuit Sana'a bereizen wij per Toyoto Landcruiser de interessante andere zones van dit stuk Arabica Felix. Nog hoger zullen wij klimmen naar verschillende uniek gelegen, omwalde stadjes zoals naar het bergdorp Shaharan over een weg die onze begrippen te boven gaat. Een héél avontuurlijke tocht die eindigt in de totale Middeleeuwen.

Ook zullen wij kennis maken met de woestijn als we op weg gaan naar Ma'rib, de hoofdstad van het oude koninkrijk Saba.

Via de westelijke berghellingen bereiken wij de kustvlakte, de Tihama, waar we kamperen we aan de oevers van de Rode Zee.

Het land is ongeveer 6 keer zo groot als Nederland, maar wij zullen er in onze 14-daagse reis grondig kennis mee maken. De reis door Jemen is een combinatie van historie, geografie, natuur, avontuur en vooral architectuur en oude cultuur. Een reis die voert van de hoge bergen tot de woestijnen en laagvlakten. Het betekent reizen in een land met nog maar heel weinig luxe en comfort.

De meer ervaren reizigers kunnen daar echter overheen komen. Zij zullen een onvergetelijke reis maken en nog vaak terugdenken aan deze authentieke parel van de oude Arabische wereld.

Goede reis...

### **eerste dag**

Vertrek van Schiphol voor de vlucht Amsterdam-Sana'a. Transfer naar het Sheraton hotel.

### **tweede dag**

's Ochtends rustig bijkomen; 's middags een eerste kennismaking met het 2000 jaar oude Sana'a met zijn architectuur, markten (suqs), nauwe straatjes, moskeeën en het Nationaal Museum. 's Avonds is een dialezing gepland.

### **derde dag**

's Morgens vertrek naar Ma'rib, 160 km ten oosten van Sana'a, de oude stad van de koningin van Sheba. Wij bezoeken de tempels van Bilqis en Awwan, de antieke stuwdam uit de 8e eeuw v. Chr. en de nieuwe stuwdam. In de late avond keren wij terug naar Sana'a.

### **vierde dag**

Excursies in de omgeving van Sana'a. Naar Wadi Dahr, 15 km noordwest van Sana'a, met het nationale symbool van Jemen, het uniek gelegen rotspaleis. Verder tochten naar de stadjes Thula (bouwkunst), Shiba (prehistorisch dorp) en Kawkaban (ford op hoge rots). In de namiddag weer terug naar Sana'a.

### **vijfde dag**

Vertrek via de stadjes Amran, Raydah, Khamir en Huth naar het bergdorpje Shaharah. Wij overnachten in een lokale Funduq (hooghuis).

### **zesde dag**

Ochtendwandeling naar de vermaarde brug van Shaharah, 300 jaar oud, die twee bergketens verbindt. Later dalen we, deels per Landcruiser, deels te voet (voor liefhebbers), af naar Sa'ada, bij de grens met Saudi-Arabië.

### **zevende dag**

Bezoek aan de heilige stad Sa'ada, de markt en de Al Hadi-moskee waar geleerden de Zaidische ideologie bewaken. Terugkeer naar Sana'a.

### **achtste dag**

Wij rijden naar Manakhah, gelegen op een bergrug met fantastische uitzichten. Wij maken van hieruit wandelingen, o.a. naar het fraaie Islamitische dorpje Al-Hajara. We overnachten in een Funduq.

### **negende dag**

Via slingende wegen dalen wij nu langzaam af naar de Tihama, de kuststrook. Wij bereiken Hodeidah, dé havenplaats van Noord-Jemen met prachtige boulevards. 's Avonds eten we in een lokaal restaurant bruine bonen, zoals wij die nog nooit gegeten hebben.

### **tiende dag**

Bezoek aan de kleurrijke vismarkt. Wij vervolgen onze tocht via Bayt Al Faqih naar Zabid. Ahmad Abu Musa Al Jaladi ontwikkelde er het wiskundig systeem 'Al Jabr' (algebra). Wij rijden door naar Al Khawkhah, een vissersdorpje, en kamperen op het strand. Verse visbarbeque!

### **elfde dag**

's Morgens genieten van de Rode Zee. Na de lunch gaan we naar Taiz; afhankelijk van de waterstand via de kust of over de weg naar Mocha.

### **twaalfde dag**

In Taiz bezoeken we de suq, de Ashrafiya-moskee en het museum. Via Jibla en Ibb, klimmen wij langzaam weer naar Sana'a.

### **dertiende dag**

Wij ronden de excursies af in Sana'a.

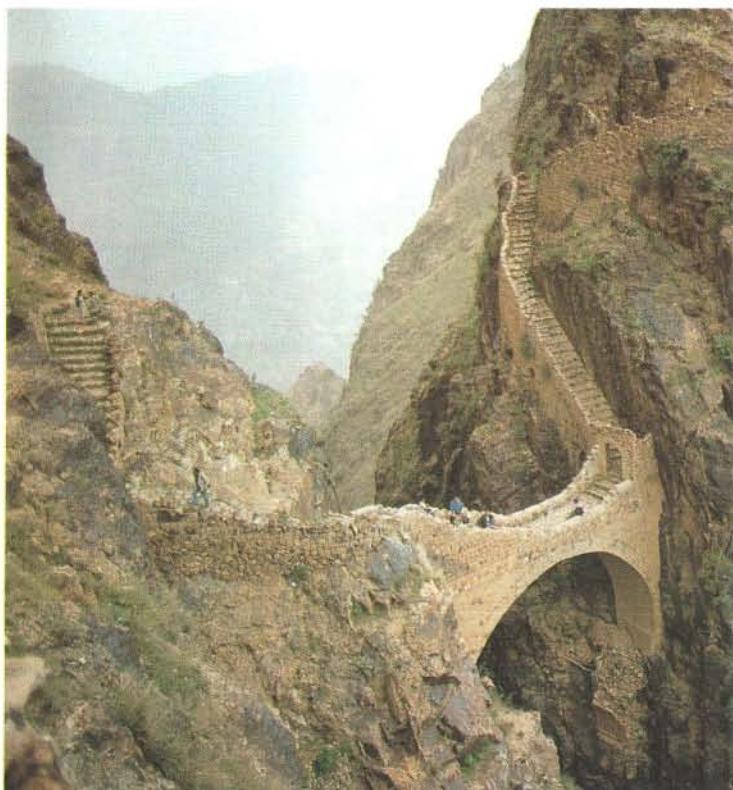
### **veertiende dag**

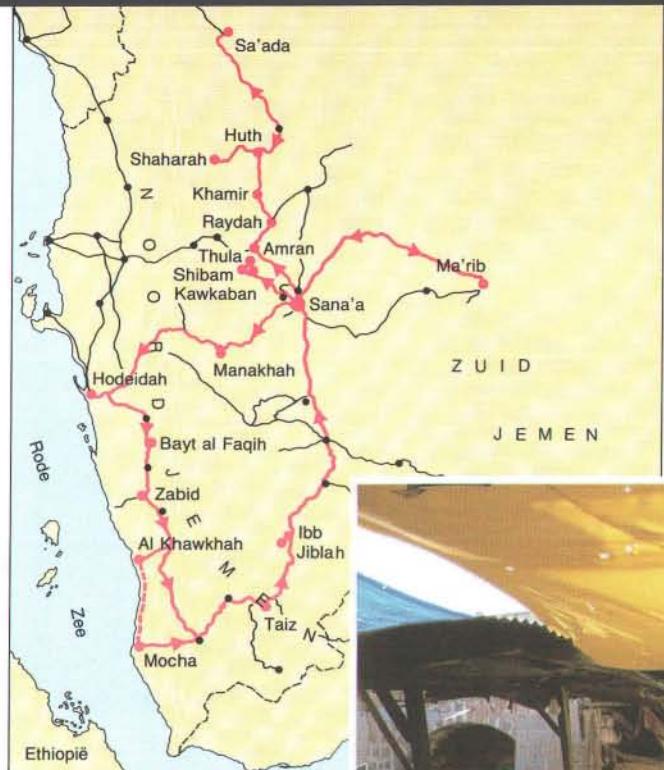
Deze dag staat ter vrije beschikking. 's Avonds een afscheidseten en transfer naar het vliegveld.

5

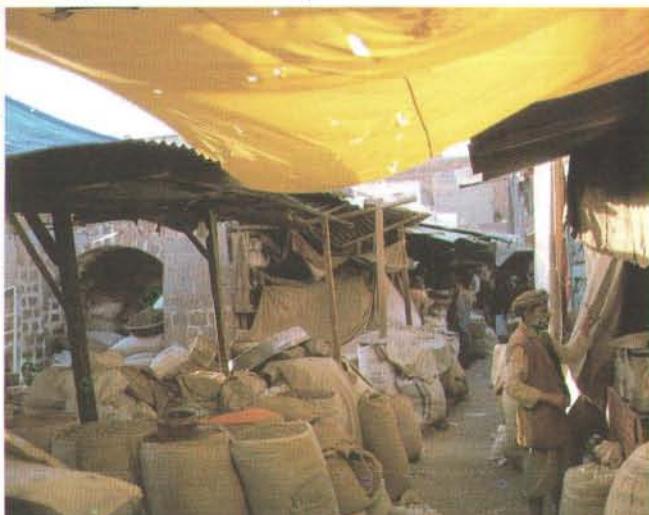
### **vijftiende dag**

Lijnvlucht per Yemen Airways van Sana'a naar Amsterdam.





De reis wordt, volgens traditie, voorafgegaan door een kennismakingsbijeenkomst waar de deelnemers uitvoerig worden voorgelicht en waar dia's worden getoond. Na elke reis organiseren wij een reünie.



**Groepsgrootte:** Maximum én minimum is 16 personen.

**Reissom:** Jemen bereizen kan men doen op twee manieren, uiterst sober en primitief van begin tot eind óf met tussendoor goede hotels om 'even bij te komen'. Transport met maximaal vier personen in een Toyota Landcruiser geeft zeker extra kosten. Tóch hebben wij bewust de reis gepland inclusief deze kosten verhogende factoren. Goede hotels en goed transport zijn zeer duur. De reissom bedraagt derhalve ca f 5650,- p.p., afhankelijk van de dollarkoers. Daarin is dan, zoals gebruikelijk, alles inbegrepen. Alle maaltijden, excursies etcetera, tot en met airport tax toe.

**Niet inbegrepen:** transport naar en van Schiphol, vaccinaties, malaria-kur, visum-kosten, RBO/annuleringsverzekering, fooien van persoonlijke aard, drankjes, was, telefoon enz.

#### Inlichtingen en inschrijven:

U kunt zich inschrijven voor deze reis door storting van f 500,- p.p. op bankrekening 25 98 222 21 (gironummer van de bank is 188 46 66) ten name van de Stichting MB Excursies te Klommen, onder vermelding van 'Jemenreis', de periode waarin u mee wilt en uw naam en adres. De inschrijving vindt plaats in de volgorde van binnengang bij ons. Inschrijvers ontvangen daarna een uitnodiging voor onze informatiebijeenkomst, circa 8 weken voor vertrek. Direct na deze bijeenkomst kunt u deze reis nog annuleren en uw inschrijfgeld, minus f 75,- algemene onkosten, terugontvangen.

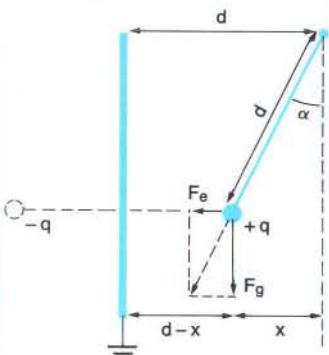
Voor nadere inlichtingen kunt u bellen of schrijven naar de Stichting MB Excursies, Graaf van Waldeckstraat 33, 6212 AN Maastricht, tel. 043-216137, óf 04459-2037 en in België: 011-522824.



## PRIJSVRAAG

### Prijsvraag

#### Oplossing juli



Naast een geaarde plaat die verticaal stond opgesteld, had de professor aan een geïsoleerde draad een klein bolletje opgehengd. Dat bolletje wilde hij een zo grote lading geven dat het bolletje de plaat net zou raken. Nou had de professor een bolletje gebruikt waarvan de diameter te verwaarlozen was. Helaas overdreef hij weer eens toen hij zijn zelfportret tekende en het bolletje als een ballon afbeeldde. Wellicht bracht dit vele puzzelaars, die zich afvroegen wat de diameter van het bolletje bedroeg, op een dwaalspoor. De oude professor is inmiddels de wacht aangezegd.

In tegenstelling tot verschillende inzenders bestempelde de professor het vraagstuk als een statisch krachtenprobleem. Daarom ging hij bij zijn berekening uit van bovenstaande schets.

De nabijheid van het geladen bolletje en de aarding van de plaat zorgen ervoor dat de plaat een even grote maar tegengestelde lading krijgt, die zich gelijksoortig verdeelt zodat een elektrisch veld loodrecht op de plaat komt te staan. Bijgevolg kon de professor in gedachten het elektrisch veld vervangen door een spiegelbeeldlading die zich op dezelfde plek achter de plaat bevond als het geladen bolletje ervoor. Dit betekent dat men bij het oplossen rekening moet houden met de afstand tussen de twee puntladin-

gen en niet alleen met de afstand tussen het bolletje en de plaat. Sommige puzzelaars zagen dit over het hoofd.

De professor rekende daarna als volgt. In geval van een evenwicht tussen de elektrische kracht waarmee de puntladingen elkaar aantrekken en de zwaartekracht die op het bolletje werkt, geldt dat  $\tan \alpha = F_e/F_g$ , wat gelijk is aan  $x/\sqrt{d^2 - x^2}$ . Met deze gegevens kan afgeleid worden dat:

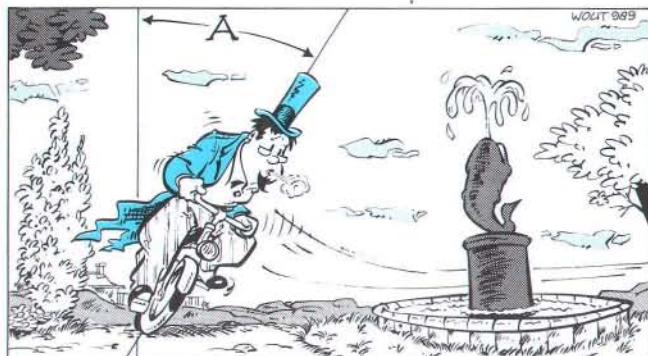
$$\frac{q^2}{16\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{F_g} = \frac{x \cdot (d-x)^2}{\sqrt{d^2-x^2}} = f(x)$$

Bij kleine ladingen passen twee evenwichtssituaties. Bij één lading hoort echter maar één even-

wichtssituatie. Voor elke lading die groter is dan deze, zal er geen evenwicht ontstaan en wordt het bolletje tegen de plaat getrokken. Deze lading kan worden gevonden wanneer de hierbij behorende uitwijking bekend is. Deze uitwijking is te berekenen als die waarbij  $f(x)$  maximaal is. Uiteindelijk vond de professor dat de lading groter moet zijn dan  $8,3 \cdot 10^{-7} C$ .

Uit de goede inzendingen is die van Henri Driessens uit Helchteren als de winnende getrokken. Hij mag een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek kiezen. Alexis de Vos uit Overmere bereikte de bovenste sport van de ladder met 70 punten en krijgt een jaar lang Natuur en Techniek gratis toegestuurd.

#### De nieuwe opgave



De professor, die tijdens zijn vakantie met zijn vrouw tochtjes op de fiets maakte, wilde wel eens weten hoe hard hij door een bocht met een straal van 100 m kon gaan. Helaas ontbeerde zijn fiets een snelheidsmeter. Daarom vroeg hij zijn vrouw om een foto van hem te maken op het moment dat hij juist door zo'n bocht kwam. Kunt u een beredeneerde schatting maken van de snelheid van de professor? Onder de in-

zenders die een goede oplossing aanbieden, wordt een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek verlot. Daarnaast winnen die inzenders zes punten voor de laddercompetitie. Oplossingen moeten uiterlijk 12 oktober op de redactie zijn.

Adres:

Natuur en Techniek  
Prijsvraag  
Postbus 415  
6200 AK Maastricht

# VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

## Woestijnleven

Prof dr H. Dumont en dr K. De Smet

Door gebrek aan vloeibaar water zijn de mogelijkheden voor leven in woestijnen beperkt. Toch leeft er een verbazend aantal organismen van uiteenlopende soort. De natuur heeft ingenieuze oplossingen voortgebracht, die het woestijnbewoners mogelijk maken in hun extreme milieu te overleven.



## Warenkeuring

Drs R. ten Broeke

Dioxine in de melk, een muizestaart in een koffiekoekje, een partij levensgevaarlijk kinderspeelgoed of witte wijn met antivries; keuringsdiensten achterhalen heel wat ongezonde, onsmakelijke, gevaarlijke en vervalse koopwaar. Bij hun nauwgezette controles weten zij zich gesteund door de modernste analyseapparatuur.



## Bolhopen

Prof dr F. Verbunt en dr G. Meylan

Een bolhoop is een kogelronde verzameling oude sterren. In de kern van de hoop naderen sterren elkaar soms zo dicht, dat ze elkaar in hun zwaartekrachtveld 'vangen' en een dubbelster vormen. In theorie zouden bolhopen ineenstorten, maar de vorming van dubbelsterren lijkt dat te verhinderen.



## Wiegendood

Dr G. Buck

Op een dag, als haar baby drie maanden oud is, legt een moeder haar kind in de wieg voor een dutje. Zij gaat verder met haar dagelijkse bezigheden. Als ze een uur later gaat kijken vindt ze het kindje dood. Wiegendood slaat toe als een sluijmpoedenaar, die zich nauwelijks laat ontmaskeren.

## Voeding

Ir M. Hoffmans

Een gezonde volwassene nuttigt tientallen kilo's vetten, eiwitten en koolhydraten per jaar. Toch blijft bij een juiste menukeuze zijn lichaamsgewicht constant. Wie te veel, te weinig of te eenzijdig eet, verstoort zijn nauwkeurig afgeregelde stofwisseling en brengt zijn lichaam in moeilijkheden.



## Computerlandschap

Dr ir J. Roos-Klein Lankhorst

Hoe onze omgeving eruit gaat zien na de bouw van een flat of snelweg, wordt meestal pas duidelijk als het project voltooid is. Met krachtige computers is



vooraf een beeld te vormen van de gevolgen van zo'n ingreep, waardoor planologen en buurtbewoners tijdig inzicht in de plannen krijgen.

# Epilepsie

In Nederland en België lijden naar schatting 150 000 mensen aan epilepsie. Deze aandoening kent vele verschijningsvormen. Wat zij gemeen hebben is dat de epileptische aanvallen plotseling optreden en – in de meeste gevallen – weer even abrupt verdwijnen. Het meest opvallend zijn de aanvallen waarbij patiënten hun bewustzijn verliezen en op de grond vallen. Vanouds boezemt zo'n schouwspel de omstanders angst in. Lichte vormen van epilepsie worden door de omgeving van de patiënt nauwelijks opgemerkt. Door de elektrische activiteit in de hersenen te meten kan men echter bijna altijd aantonen dat er toch sprake is van epilepsie. Met nieuwe technieken en apparatuur kan men de diagnose nog beter stellen. Die snelle ontwikkeling ontbreekt ten aanzien van de behandeling van epilepsie. Er zijn nog geen nieuwe geneesmiddelen. Men verwacht echter dat in de komende jaren de behandelmethoden verfijnd zullen worden. Epilepsie kan iemands gehele leven beïnvloeden. Er is onzekerheid over het tijdstip van de aanval en wat er tijdens die aanval gebeurt. Er is angst voor de reacties van de omgeving. Dit alles speelt een grote rol in de persoonlijke sociale ontwikkeling, zoals bij opleiding, werk en relaties.

Zojuist  
verschenen



## INHOUD

**Epilepsie in historisch perspectief**  
C. Troch

**Epilepsie bij Azteken en Inca's**  
J.G.R. Elferink

**Epidemiologie**  
M.J. Rutgers

**Verschijningsvormen**  
H. Meinardi

**Diagnostiek en behandeling**  
J.L. Blom

**Onderzoek naar oorzaken**  
R.A. Voskuyl

**Ontwikkelingen in de neuropsychologie**  
W.C.J. Alpherts & A.P. Aldenkamp

**Sociale aspecten**  
M.J. Rutgers

**Leerproblemen, Slaaponderzoek**  
A.C. Declerck

**Slotbeschouwing**  
C. Peper

## CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 3 van de 13e jaargang.  
Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar)  
f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50  
of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek –  
Informatiecentrum – Op de Thermen –  
Postbus 415 – 6200 AK Maastricht –  
Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-  
43254044.